

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Vliv světelných zdrojů na kvalitu elektrické
energie**
Influence of Light Source on Power Quality

2009

Josef Šlahař

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 7. 5. 2009

Podpis studenta

Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Petru Krejčímu, Ph.D., jenž mi poskytl cenné rady a připomínky při řešení mých úkolů. Dále bych také chtěl poděkovat panu Ing. Františku Dostálovi za pomoc a rady při řešení praktické části této práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou kvality elektrické energie, zejména studií negativních vlivů, které způsobují jednotlivé zdroje elektrického světla. Součástí této práce je také změření a vyhodnocení parametrů kvality na vybraných světelných zdrojích.

Klíčová slova

Světelný zdroj, elektrické světlo, kvalita elektrické energie, napájecí napětí, napájecí síť

Abstract

This bachelor thesis deals with the problematics of power quality, in particular, the study of the negative influence that light sources of electrician lights bring along. The part of this thesis is to measure and evaluate parameters of quality at selected light sources.

Keywords

Light source, electrician light, power quality, supply voltage, power network

Seznam použitých zkratk

AC	Střídavý
c	Rychlost šíření vlnění ve vakuu, jednotka m/s
$\cos \varphi$	Účinník
ČSN	České technické normy
DC	Stejnoseměrný
EMI	Elektromagnetické rušení
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EN	Evropská norma
f	Frekvence, jednotka Hz
I	Proud, jednotka A
LED	Elektroluminiscentní dioda
nn	Nízké napětí
OS	Osvětlovací soustava
PFC	Power Factor Corrector
P	Činný výkon, jednotka W
Q	Jalový výkon, jednotka VAr
S	Zdánlivý výkon, jednotka VA
THD	Činitel celkového harmonického zkreslení
U	Napětí, jednotka V
U_n	Jmenovité napětí
vn	Vysoké napětí
λ	Vlnová délka, jednotka m

Obsah

1	ÚVOD	1
2	ROZBOR KVALITY ELEKTRICKÉ ENERGIE	2
2.1	Kvalita elektrické energie z pohledu ČSN EN 50160	2
2.1.1	Síť nízkého napětí	3
2.1.1.1	Kmitočet sítě	3
2.1.1.2	Velikost napájecího napětí	3
2.1.1.3	Odchyšky napájecího napětí	4
2.1.1.4	Rychlé změny napětí	4
2.1.1.5	Krátkodobé poklesy napájecího napětí	4
2.1.1.6	Krátkodobá přerušení napájecího napětí	5
2.1.1.7	Dlouhodobá přerušení napájecího napětí	5
2.1.1.8	Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí	5
2.1.1.9	Přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí	5
2.1.1.10	Nesymetrie napájecího napětí	6
2.1.1.11	Harmonická napětí	6
2.1.1.12	Meziharmonická napětí	6
2.1.1.13	Úrovně napětí signálů v napájecím napětí	7
2.1.2	Síť vysokého napětí	7
3	SVĚTELNÉ ZDROJE A JEJICH VLIV NA NAPÁJECÍ SÍŤ	8
3.1	Elektrické světlo	8
3.1.1	Vznik elektrického světla	9
3.2	Světelné zdroje	10
3.2.1	Žárovky	10
3.2.2	Halogenové žárovky	11
3.2.3	Kompaktní zářivky	11
3.2.4	Lineární zářivky	12
3.2.5	Vysokotlaké rtuťové výbojky	13
3.2.6	Vysokotlaké sodíkové výbojky	14
3.2.7	Halogenidové výbojky	14
3.2.8	Nízkotlaké sodíkové výbojky	15
3.2.9	Sírné výbojky	15
3.2.10	Indukční výbojky	16
3.2.11	LED diody	16
3.3	Vliv světelných zdrojů na napájecí síť	17
3.3.1	Charakter odběru a rušivé vlivy	17
3.3.1.1	Žárovky a halogenové žárovky	20
3.3.1.2	Výbojové světelné zdroje	20
3.3.2	Vliv napájecího napětí na světelné zdroje	22
4	VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ	23
4.1	Měření	23
4.1.1	Vlastnosti použitých přístrojů	24
4.1.2	Zkoumané světelné zdroje	24
4.2	Rozbor naměřených dat	25
4.2.1	Výbojka OSRAM 150W	25
4.2.2	Výbojka OSRAM 1000 W	27
4.2.3	Pole s LED diodami	30

4.2.4	Kompaktní zářivka OSRAM 23 W	31
4.2.5	Výbojka PHILIPS 150 W.....	34
4.2.6	Žárovka TESLA 150 W	36
4.3	Srovnání parametrů kvality	40
5	ZÁVĚR.....	41

LITERATURA

1 Úvod

Elektrina je považována za nejčistší a nejuniverzálnější formu energie na planetě Zemi, jenž jako zboží kupují fyzické i právnické osoby za účelem zabezpečení výroby nebo uspokojení svých osobních potřeb. Elektrina zabezpečuje komunikaci mezi lidmi, přináší lidem obraz, pomáhá udržovat zdraví, napájí výpočetní techniku, pohání dopravní prostředky, zabezpečuje řízení a pohon strojů, chrání majetek, přeměněna ve světlo prodlužuje den. V podstatě usnadňuje lidem na Zemi jejich každodenní činnosti.

Elektroenergetika je obor, jenž se zabývá výrobou, přenosem, rozvodem, transformací a užitím elektrické energie. Tato energie je považována za nejušlechtilější a nejčistější druh z používaných energií a je v dnešní době jednou z nejdůležitějších komodit. Jde však přitom o zboží, jež nelze ve větší míře skladovat, je tudíž přímo dodáváno do místa spotřeby. Nelze ji během distribuce stáhnout, nebo odmítnout, proto musí vyhovovat normám.

Zhruba 12-18 % z celkové spotřebované elektrické energie je přeměněno na světlo, což není zanedbatelné množství. Proto musíme věnovat část naší pozornosti světelným zdrojům a jejich vlastnostem. Zejména těm, jenž působí negativně na napájecí síť. Díky nim dochází k deformaci sinusového průběhu napětí a proudu, a také zvětšením ztrát díky odběru jalového výkonu.

Bakalářská práce se zabývá kvalitou elektrické energie, zejména negativními vlivy světelných zdrojů, jež způsobují zpětné rušivé vlivy na napájecí síť. Na počátku je rozebrána kvalita elektrické energie z pohledu norem, zejména ČSN EN 50160, dále je popsána podstata a zdroje elektrického světla. Jsou zde také uvedeny nezbytné součásti světelných zdrojů, jenž v největší měrou negativně ovlivňují napájecí síť. Obsahem této práce je také měření a vyhodnocení parametrů kvality na vybraných světelných zdrojích.

2 Rozbor kvality elektrické energie

V dnešní době bere každý z nás elektrickou energii a její charakter jako samozřejmost, ale také elektřina má své zásadní nedostatky, k nimž patří:

- přímá vázanost její výroby na její spotřebu. Z toho vyplývá, že vyrobenou elektřinu není možné dlouhodobě skladovat a vyrábět ji do zásoby na sklad jako jiné zboží. Krátkodobě můžeme elektřinu uchovávat například v různých typech elektrických akumulátorů, bateriích a jiných zásobnících elektřiny.
- při jejím nesprávném používání nebo při závadách na zařízení nebo spotřebičích může dojít:
 - k poškození lidského zdraví s trvalými následky, případně i úmrtí,
 - ke škodám na majetku.

Aby byla dodržena kvalita elektrické energie, musí se jednotlivé parametry napětí pohybovat v zadaných tolerancích, které určuje norma ČSN EN 50160.

2.1 Kvalita elektrické energie z pohledu ČSN EN 50160

Jednotlivé charakteristiky napětí elektrické energie, popisující kvalitu elektřiny dodávané z veřejné distribuční sítě, vycházejí z této normy, jak pro síť nn tak i vn.

Předmětem této normy je definování a popis charakteristik napájecího napětí týkající se:

- kmitočtu,
- velikosti,
- tvaru vlny,
- symetrie třífázových napětí.

Během normálního provozu sítě vyvolávají změny zatížení, rušení způsobená nějakým zařízením i výskyt poruch, převážně způsobených vnějšími vlivy, změny těchto charakteristik.

Charakteristiky se mění způsobem, který je pro jakékoliv předávací místo náhodný v čase a pro jakýkoliv časový okamžik náhodný co do místa. S ohledem na tyto vlastnosti lze očekávat, že úroveň charakteristik mohou být v malém počtu případů překročeny.

Některé jevy, které ovlivňují napětí, jsou výslovně nepředvídatelné tak, že je nemožné stanovit u příslušných charakteristik určité hodnoty. Hodnoty uvedené v této normě pro takové jevy, např. krátkodobé poklesy a přerušení napětí, musí být proto interpretovány jako směrné hodnoty.

2.1.1 Síť nízkého napětí

2.1.1.1 Kmitočet sítě

Jmenovitý kmitočet napájecího napětí musí být 50 Hz. Za normálních provozních podmínek musí být střední hodnota kmitočtu základní harmonické měřená v intervalu 10 s v následujících mezích:

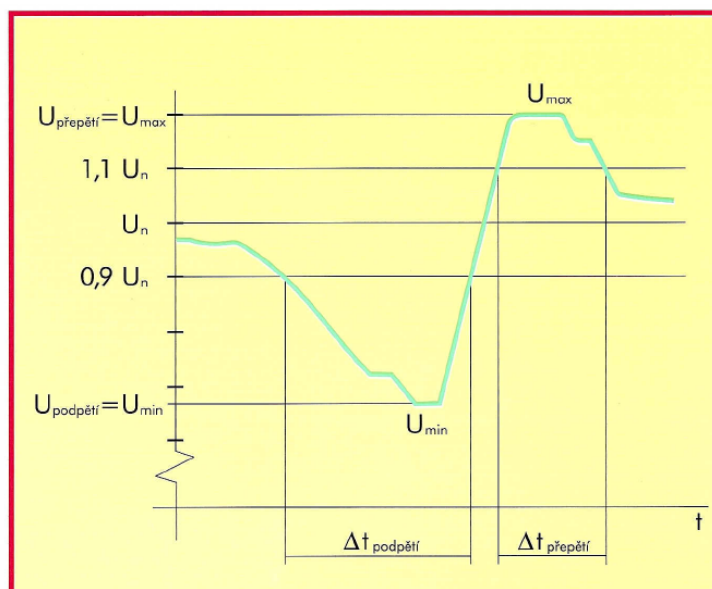
- u systémů se synchronním připojením k propojenému systému
50 Hz \pm 1 % (tj. 49,5 Hz ... 50,5 Hz) během 99,5 % roku,
50 Hz +4 %/ -6 % (tj. 47 Hz ... 52 Hz) po 100 % času.
- u systémů bez synchronního připojení k propojenému systému (tj. ostrovní napájecí systémy)
50 Hz \pm 2 % (tj. 49 Hz ... 51 Hz) během 95 % týdne,
50 Hz \pm 15 % (tj. 42,5 Hz ... 57,5 Hz) po 100 % času.

2.1.1.2 Velikost napájecího napětí

Normalizované jmenovité napětí U_n pro veřejnou síť nízkého napětí je

- pro čtyřvodičové trojfázové soustavy
 $U_n = 230$ V, mezi fázovým a středním vodičem,
- pro třívodičové trojfázové soustavy
 $U_n = 230$ V, mezi fázovými vodiči.

[3]



Obr. 1 Pokles napájecího napětí

[1]

2.1.1.3 Odchytky napájecího napětí

Za normálních provozních podmínek, s vyloučením přerušení napájení,

- musí být během každého týdne 95 % průměrných efektivních hodnot napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut v rozsahu $U_n \pm 10 \%$.
- všechny průměrné efektivní hodnoty napájecího napětí v měřicích intervalech 10 minut musí být v rozsahu $U_n + 10 \%$ / -15% .

2.1.1.4 Rychlé změny napětí

Velikost rychlých změn napětí

Rychlé změny napájecího napětí jsou způsobeny zejména změnami zatížení u odběratelů nebo spínáním v síti.

Za normálních provozních podmínek rychlé změny napětí obecně nepřekračují 5 % U_n , za určitých okolností se však mohou vyskytnout několikrát denně rychlé změny napětí až do 10 % U_n .

Míra vjemu flikru

Za normálních provozních podmínek musí být po 95 % času, v libovolném týdenním období, dlouhodobá míra vjemu flikru $P_{lt} \leq 1$.

2.1.1.5 Krátkodobé poklesy napájecího napětí

Krátkodobé poklesy jsou obecně způsobeny poruchami v instalacích odběratelů nebo ve veřejné distribuční síti. Jsou to nepředvídatelné, převážně náhodné jevy. Jejich četnost výskytu za rok se značně mění podle typu rozvodné sítě a místa sledování. Mimoto může být jejich rozložení během roku velmi nepravidelné.

Směrné hodnoty:

Za normálních provozních podmínek může být očekávaný počet krátkodobých poklesů napětí během roku od několika desítek až do jednoho tisíce. Většina krátkodobých poklesů napětí má dobu trvání kratší než 1 sekundu a hloubku poklesu menší než 60 %. Občas se však mohou vyskytnout krátkodobé poklesy napětí s větší hloubkou a delší dobou trvání. V některých oblastech se mohou velmi často vyskytovat krátkodobé poklesy napětí s hloubkou poklesu mezi 10 % a 15 % U_n jako následek spínání zatížení v instalacích odběratelů.

2.1.1.6 Krátkodobá přerušení napájecího napětí

Směrné hodnoty:

Za normálních provozních podmínek je roční výskyt krátkodobých přerušení napájecího napětí v rozsahu od několika desítek až do několika stovek. Přibližně 70 % krátkodobých přerušení bývá kratší než 1 sekunda.

2.1.1.7 Dlouhodobá přerušení napájecího napětí

Poruchová přerušení napětí jsou obvykle způsobena vnějšími událostmi nebo vlivy, kterým dodavatel nemůže předcházet. Pro roční četnost a doby trvání dlouhodobých přerušení není možné udat typické hodnoty. To je způsobeno velkými rozdíly v uspořádání a struktuře elektrických sítí a rovněž nepředvídatelnými důsledky povětrnosti a vlivy třetích stran.

Směrné hodnoty:

Za normálních provozních podmínek může být roční četnost přerušení napětí delších než tři minuty menší než 10, avšak v závislosti na oblasti může dosahovat až 50 minut. Pro předem dohodnutá přerušení se směrné hodnoty neuvádějí, protože tato přerušení se ohlašují v předstihu.

2.1.1.8 Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí

Dočasná přepětí o síťovém kmitočtu se obecně objevují během poruch ve veřejných distribučních sítích nebo v bilanci odběratele a zmizí jakmile je porucha odstraněna. Obvykle mohou tato přepětí dosáhnout důsledku posunu uzlového bodu třífázové soustavy hodnoty sdruženého napětí.

Směrné hodnoty:

Za určitých okolností způsobí zkrat na straně vn transformátoru dočasné přepětí na straně nn, jehož doba trvání bude shodná s dobou trvání zkratového proudu. Takováto přepětí všeobecně nepřekračují 1,5 kV (efektivní hodnota).

2.1.1.9 Přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí

Přechodná přepětí obecně nepřekračují 6 kV (vrcholová hodnota), náhodně se však vyskytují i hodnoty vyšší. Doby čela přepětí jsou velmi různé – od milisekund až po méně než mikrosekundu.

2.1.1.10 Nesymetrie napájecího napětí

Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot zpětné složky napájecího napětí v rozsahu 0 % až 2 % sousledné složky. V některých oblastech, v nichž jsou instalace odběratelů částečně připojeny jednofázově nebo dvoufázově, se vyskytují v odběrných místech nesymetrie až do 3 %.

2.1.1.11 Harmonická napětí

Za normálních provozních podmínek musí být v libovolném týdenním období 95 % desetiminutových středních efektivních hodnot napětí každé harmonické menší nebo rovno hodnotě uvedené v Tab. 1. U jednotlivých harmonických mohou rezonance způsobit napětí vyšší. Mimoto celkový činitel zkreslení THD napájecího napětí (zahrnují všechny harmonické až do řádu 40) musí být menší nebo roven 8 %.

Liché násobky				Sudé harmonické	
Ne násobky 3		Násobky 3			
Řád harmonické h	Harmonické napětí %	Řád harmonické h	Harmonické napětí %	Řád harmonické h	Harmonické napětí %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.5	6 ... 24	0.5
13	3	21	0.5		
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25					

Tab. 1 Úroveň jednotlivých harmonických napětí v předacím místě v procentech U_n pro řady harmonických až do 25

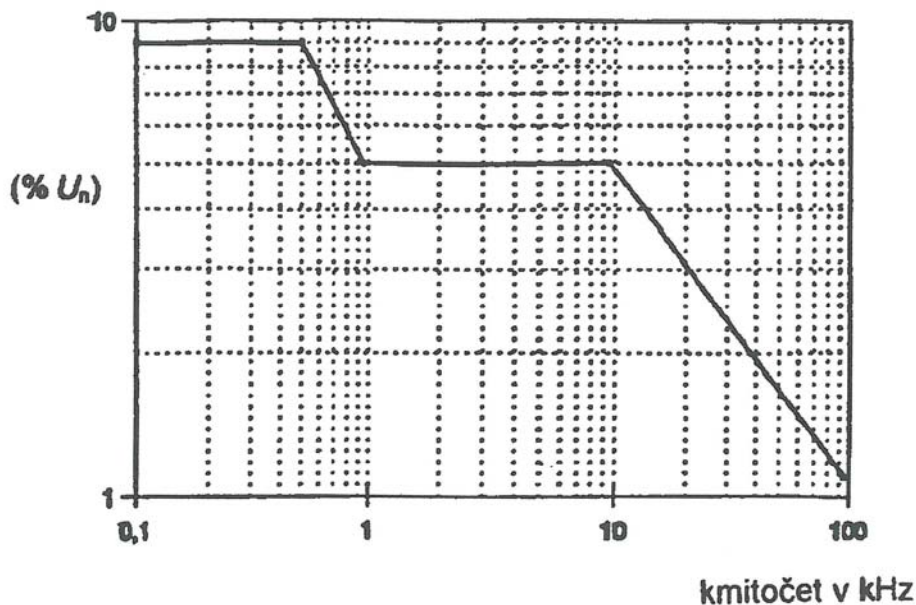
Poznámka: Úroveň pro harmonické vyšších řádů než 25 se neuvádějí, jelikož jsou obvykle malé, avšak vlivem rezonančních jevů obtížně předvídatelné.

2.1.1.12 Meziharmonická napětí

S rozvojem používání měničů kmitočtů a podobných zařízení, hladina meziharmonických narůstá. Hodnoty se v současné době studují a získávají další zkušenosti. V určitých případech způsobují meziharmonické i nízkých úrovní flickr nebo rušení v systémech hromadného dálkového ovládání.

2.1.1.13 Úrovně napětí signálů v napájecím napětí

V některých zemích využívají veřejnou distribuční síť k přenosu informací. Střední hodnota napětí signálu měřeného po dobu tří sekund musí být v 99 % dne menší nebo rovná hodnotám daným v Obr 2.



Obr. 2 Úrovně napětí na kmitočtech signálu v procentech U_N ve veřejných distribučních sítích nn

2.1.2 Síť vysokého napětí

Pro síť vysokého napětí je norma ČSN EN 50160 téměř totožná jak pro síť nízkého napětí. Poněvadž světelné zdroje nebývají napájeny VN, nebudu zde tuto část podrobně rozepisovat.

3 Světelné zdroje a jejich vliv na napájecí síť

3.1 Elektrické světlo

Světlo je elektromagnetické vlnění o takové vlnové délce, kterou je lidské oko schopno vnímat.[2] Tato oblast se nazývá viditelné záření a jeho hranice v rozsahu vlnových délek se nedají přesně definovat, poněvadž jsou odlišné pro různé pozorovatele. Přibližně se viditelné záření nachází v rozsahu vlnových délek od 380 nm až do 780 nm, což je frekvence od 380 THz až do 790 THz . Vztah mezi vlnovou délkou λ a frekvencí f je:

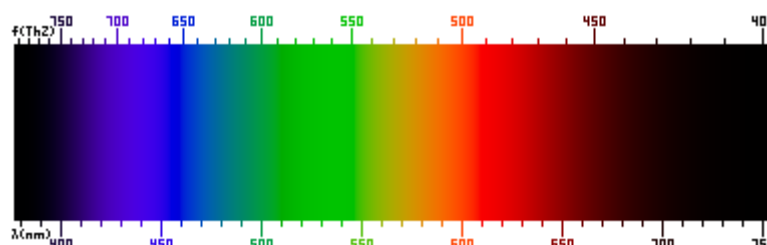
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

přičemž c je rychlost šíření vlnění ve vakuu a je rovna $300 \cdot 10^6 \text{ m.s}^{-1}$.[9] Světlo různých vlnových délek (frekvencí) se od sebe liší zabarvením.

Vlnová délka λ (nm)	Barevný tón spektrální barvy
380-420	Fialová
420-440	Modrofialová
440-460	Modrá
460-510	Modrozelená
510-560	Zelená
560-590	Žlutá
590-650	Oranžová
650-780	Červená

Tab. 2 Barevné tóny viditelného světla

Na straně kratších vlnových délek přechází světlo v neviditelné ultrafialové záření, dále v Rentgenovo, v gama záření a v kosmické záření. Na straně větších vlnových délek navazují na viditelné spektrum neviditelné paprsky infračervené a dále elektromagnetické vlny používané ve vysokofrekvenční technice.



Obr. 3 Spektrum elektromagnetického vlnění

3.1.1 Vznik elektrického světla

Světlo pochází jednak od přírodních zdrojů, jako je slunce, blesk atd., jednak od zdrojů umělých, např. elektrické světelné zdroje a jiné. Nás budou nejvíce zajímat právě světlo elektrické. [2]

V současné době dochází k přeměně elektrické energie na světlo ve světelných zdrojích na těchto čtyřech základních principech:

- inkandescencí neboli tepelným buzením vznikajícím při zahřátí pevné látky na vysokou teplotu,
- vybuzením atomů v elektrickém výboji,
- luminiscencí pevných látek,
- emise fotonu při průchodu proudu polovodičovým přechodem.

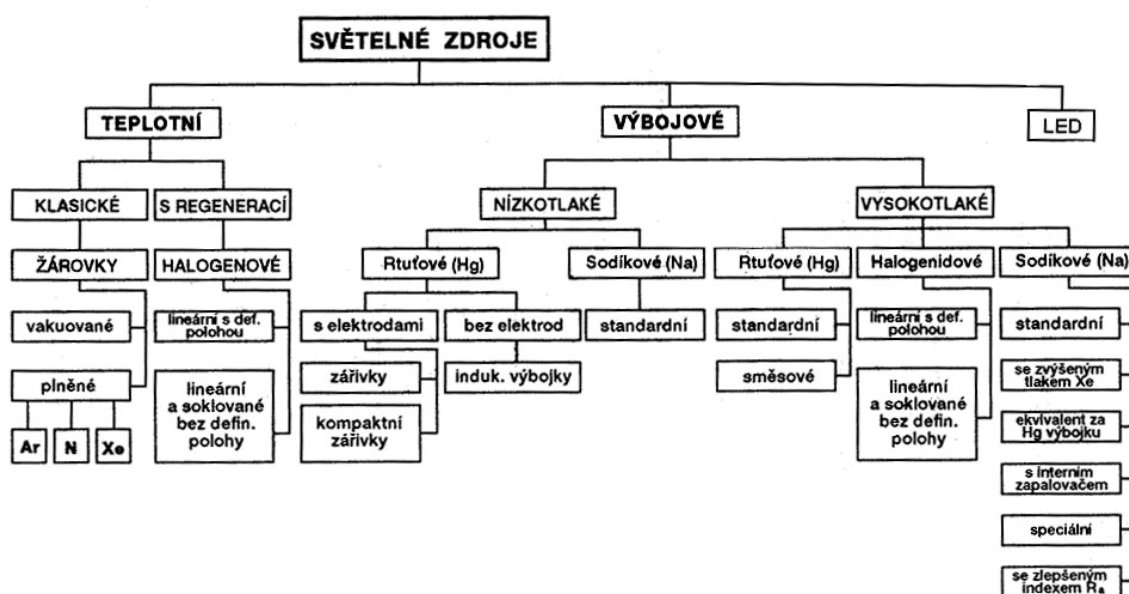
Typickým představitelem prvního typu přeměny elektřiny na světlo jsou obyčejné a halogenové žárovky. Dodávanou energií je energie tepelná, která vzniká průchodem elektrického proudu wolframovým vláknem. Druhý typ představují všechny nízkotlaké a vysokotlaké výbojové zdroje světla (žárovky, sodíkové, rtuťové, halogenidové a nové typy výbojek). Světlo zde vzniká při nepružných srážkách atomů, iontů a elektronů ve sloupci výboje, který se nachází v elektrickém poli. Třetí typ vzniku světla je založen na principu přeměny záření o kratší vlnové délce, například ultrafialového na viditelné záření o delší vlnové délce. Tento jev nastává ve vrstvě tzv. luminoforu, což je u žárovky světlá vrstva nanesená na vnitřní povrch trubice. Žárovka bez vrstvy luminoforu vyzařuje převážně záření o vlnové délce $\lambda = 253 \text{ nm}$, jenž patří do oblasti ultrafialového záření. Při použití luminoforu se ultrafialové záření transformuje do viditelné oblasti. Poslední typ vzniku světla představují LED diody, jejichž mohutný vývoj je přesouvá z oblasti signalizace do oblasti osvětlování.

[8]

3.2 Světelné zdroje

Jednou z nejdůležitějších oblastí rozvoje osvětlování je oblast světelných zdrojů. Mezi hlavní parametry, jenž se u světelných zdrojů sledují, patří měrný výkon, doba života, index podání barev, možnost stmívání a rozměry.

Pro získání přehledu o struktuře světelných zdrojů je níže uvedeno jejich základní členění (Obr.4). Při pohledu na rozdělení světelných zdrojů, je nutné si uvědomit, že rychlým nástupem moderních polovodičových technologií vstupují do hry nejen světelné zdroje teplotní a výbojové, ale také světelné zdroje na bázi LED diod.



Obr. 4 Schématické rozdělení světelných zdrojů

3.2.1 Žárovky

Obyčejné žárovky jsou stále nejpopulárnějším a nejlevnějším světelným zdrojem. Jejich teplé světlo vytváří příjemnou atmosféru a jsou stále nejvyhledávanější ve výběru světelných zdrojů pro všeobecné osvětlování.

Žárovky jsou prvotními umělými zdroji světla využívající technologii výroby, která je už víc jak 100 let stará. Princip technologie spočívá v tom, že do vnitřku vyčerpané skleněné baňky (vakuum) je uloženo vlákno z wolframu, jímž protéká elektrický proud. Elektrický proud způsobuje ohřev vlákna a tím i vyzařování v oblasti viditelného spektra elektromagnetického vlnění. Moderní žárovky mají vlákno ve tvaru spirály, jenž zvyšuje účinnost a redukuje tepelné ztráty. Baňky žárovek jsou vyčerpané na vysoké vakuum proto, aby bylo chráněno vlákno před

sloučením s kyslíkem a jeho hořením. Baňky žárovek vyšších výkonu jsou plněny inertními plyny.

3.2.2 Halogenové žárovky

Halogenové žárovky jsou velmi kompaktní, z čehož vyplývají široké možnosti jejich použití, zejména v přesném směřování světelných paprsků. Halogenové žárovky mají měrný výkon asi o 20 % vyšší než standardní žárovky. Ve standardní žárovce se wolfram z vlákna žárovky vypařuje a pokrývá povrch baňky, což způsobuje snížení světelného toku žárovky. Kruhový proces uvnitř baňky způsobuje, že vypařený wolfram se při povrchu baňky slučuje s halogenem a vlivem tepelného pole se vrací na nejteplejší místo vlákna, kde dochází ke zpětnému usazení wolframu a halogen se vrací k povrchu baňky, tento proces se též nazývá disociace. Tím se nejen zvyšuje světelný tok, ale prodlužuje se také doba života halogenových žárovek.

3.2.3 Kompaktní zářivky

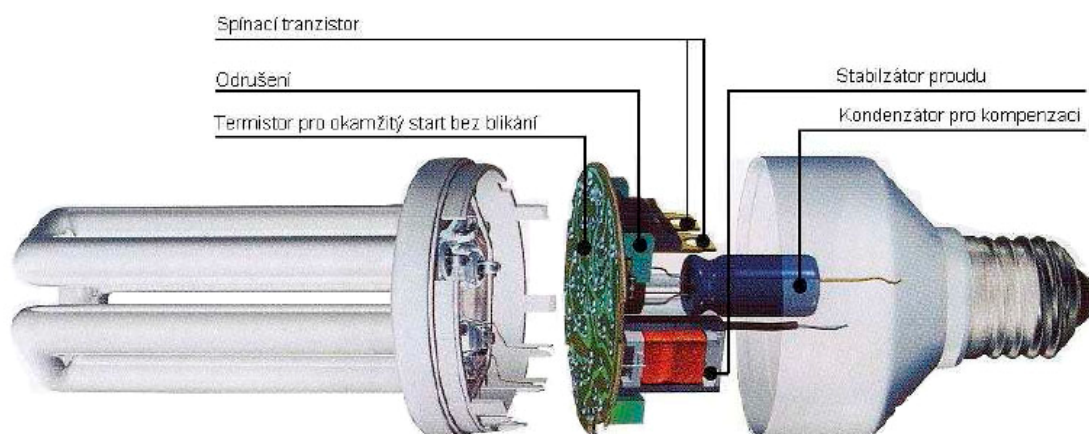
Tyto světelné zdroje v sobě mají čtyři základní výhody:

- produkují světelný tok s vysokým indexem podání barev,
- ve srovnání s žárovkami dosahují výrazné úspory energie,
- mají moderní design,
- ve srovnání s žárovkami mají výrazně vyšší dobu života.

Kompaktní zářivky vyrábějí světlo na stejném principu jako zářivky, v podstatě jsou to lineární zářivky, jenž se zahnou a opatří předřadníkem a různými přívody elektřiny. Páry rtuti jsou vlivem elektrického pole mezi elektrodami vybuzeny k emisi neviditelného UV záření. Vnitřní strana skla je opatřena vrstvou luminoforu, který přeměňuje UV záření na viditelné světlo. Výběrem luminoforu je možno docílit různých barev světla. U kompaktních zářivek se díky zahnutí a rozdělení skleněných trubiček podařilo dosáhnout rozměru srovnatelných se standardními žárovkami.

Kompaktní zářivky můžeme rozdělit do dvou skupin:

- kompaktní zářivky s elektronickým předřadníkem (viz Obr. 5),
 - kompaktní zářivky bez elektronického předřadníku se zapalovačem – 2 pinové (bez zapalovače – 4 pinové, viz Obr. 6).
-



Obr. 5 Složení kompaktní zářivky s elektronickým předřadníkem



Obr. 6 Kompaktní zářivka bez předřadníku (4 pinová)

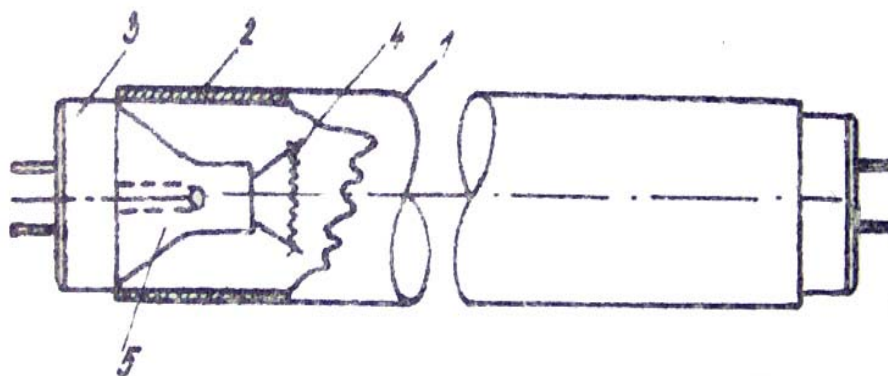
[8]

3.2.4 Lineární zářivky

Lineární zářivky vyrábějí okolo 70 % umělého světla na celém světě. Jsou velice výhodné zejména z ekonomického hlediska, protože se vyznačují vysokým měrným výkonem. Zářivka spotřebuje jen přibližně pětinu elektrického proudu v porovnání se žárovkou.

Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojové zdroje, které vyzařují především v oblasti ultrafialového záření. Toto se transformuje ve viditelné záření pomocí luminoforu. Princip funkce zářivek je následující: ve skleněné trubici jsou vlivem elektrického pole mezi elektrodami vybuzeny páry rtuti ve kterých dochází k emisi neviditelného UV záření. Luminofor na vnitřním povrchu skleněné trubice přeměňuje neviditelné UV záření na viditelné světlo. [8] Trubice bývá také naplněná vzácným plynem argonem, popřípadě směsí plynu argonu s neonem. Přidáním vzácných plynů se snižuje zápalné napětí a zabraňuje vypařování materiálu elektrod.

Zářivky nejsou vhodným zdrojem světla v prostorech, kde dochází k častému vypínání a zapínání. Každým zapálením se život zářivky zkracuje asi o 1,5 hodiny. Nevýhodou zářivek je skutečnost, že jejich světelný tok je závislý na teplotě trubice, respektive okolí. Optimální teplota okolí je 25°C, při níž je světelný tok maximální, zářivky nelze, v našich klimatických podmínkách, použít pro osvětlení venkovních prostor.



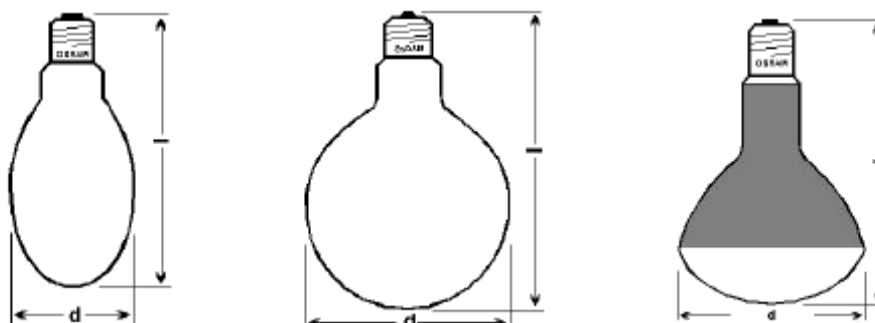
Obr. 7 Schématické znázornění zářivky (1. trubice; 2. luminofor; 3. patice; 4. elektroda; 5. náplň trubice)

[9]

3.2.5 Vysokotlaké rtuťové výbojky

Záření u těchto zdrojů vzniká obloukovým výbojem v parách rtuti při tlaku pod 0,1 MPa ve výbojové trubici, v takzvaném hořáku z křemenného skla. Toto záření se transformuje pomocí luminoforu do viditelné oblasti. Hlavní elektrody tvoří wolframový drát pokrytý emisní vrstvou kysličníků barya, stroncia a nebo vápníku. [8] Venkovní baňka je ve tvaru kapky a její náplň se skládá ze směsi argonu a dusíku. Baňka chrání nosný systém před okysličením, nepropouští UV záření a tvoří tepelnou izolaci. [9]

Hlavní nevýhodou těchto výbojek spočívá v tom, že k ustálení parametru dochází zhruba až po 5 min po startu, a proto se nehodí k osvětlování vnitřních prostorů. Používají se k osvětlení průmyslových prostorů, ulic a sportovišť. Přesto, že podíl těchto výbojek v celkové spotřebě postupně klesá a jsou nahrazovány účinnějšími halogenidovými a zejména vysokotlakými sodíkovými výbojkami, lze očekávat jejich využití i v nejbližší budoucnosti pro poměrně nízkou cenu a jednoduchou údržbu osvětlovací soustavy.



Obr. 8 Příklady vysokotlakých rtuťových výbojek

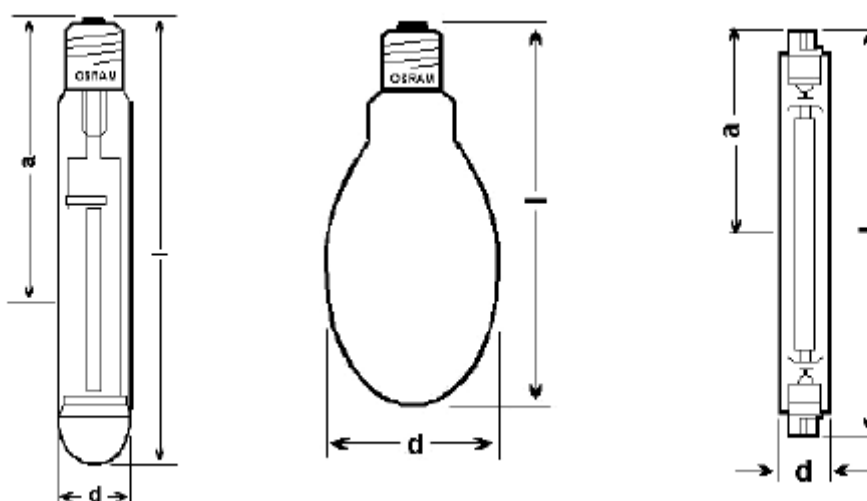
3.2.6 Vysokotlaké sodíkové výbojky

Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou zdroje světla, v nichž světlo vzniká hlavně zářením sodíkových par s pracovním tlakem v rozmezí 3 až 60 kPa. Vysokotlaké sodíkové výbojky mají univerzální použití, určitou nevýhodou těchto zdrojů je barva vyzařovaného světla, která způsobuje horší barevné podání osvětlovaných předmětů.

[8]

Výbojky jsou schopné provozu při teplotách od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Do jedné minuty po přerušení elektrického proudu lze výbojku znovu zapálit, ale po dvou minutách od přerušení je možné opětovné zapálení až po ochlazení. Tyto světelné zdroje se používají pro osvětlení vnitřních i venkovních prostor, dálnic, nebezpečných míst a hutí, své využití také našli ve šlechtění a semenářství v rostlinné výrobě.

[9]



Obr. 9 Příklad vysokotlakých sodíkových výbojek

3.2.7 Halogenidové výbojky

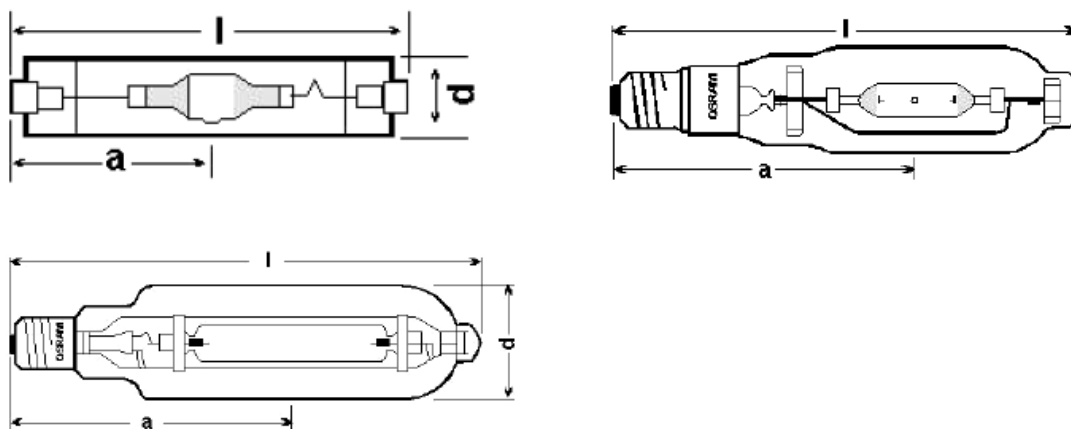
Viditelné záření v těchto výbojkách vzniká nejen elektrickým výbojem v párách rtuti, ale převážně zářením produktů halogenidů, to znamená sloučenin halových prvků např. s galiem, thaliem, sodíkem apod. Toto vede k docílení vysokého indexu podání barev. V křemenném hořáku vzniká cyklus obdobný regeneračnímu cyklu jako u halogenových žárovek. Tlak rtuťových par je 0,5 MPa a tlak příměsí $1,33 \cdot 10^2\text{ Pa}$. Výbojky jsou vzhledem k obtížné technologii výroby velmi drahé a tudíž pro masové nasazení nevhodné.

[8]

Další jejich nevýhodou je, že plný světelný tok se po zapálení dosáhne až po 5 minutách. Po zhasnutí výbojky je znovuzapálení možné až po 10 až 15 minutách, kdy se

dostatečně výbojka ochladí, a tím dojde ke snížení tlaku rtuťových par v hořáku. Jsou vhodné k osvětlování míst, kde se vyžadují vysoké nároky na index podání barev.

[9]



Obr. 10 Příklad halogenidových výbojek

3.2.8 Nízkotlaké sodíkové výbojky

U sodíkových výbojek nastává výboj ve výbojové trubici, jenž je vyrobena z polykrystalického a nebo monokrystalického kysličníku hlinitého. Trubice je naplněna argonem, neonem a sodíkem, při tlaku sodíkových par 0,5 Pa. Ve vyzářeném světle není možné rozlišovat barvy, index podání barev je roven 0. Zejména z tohoto důvodu nenašlo osvětlení nízkotlakými sodíkovými výbojkami v naší republice, až na vzácné výjimky, většího uplatnění.

[8]

Ve žlutém světle nízkotlakých sodíkových výbojek se dobře rozeznávají detaily, dochází ke větším kontrastům jasů, a proto se hodí pro osvětlení v mlze.

[9]

3.2.9 Sirné výbojky

Jedná se o vysokotlaké výbojky s náplní síry a kulovým svíticím tělesem o průměru od 5 do 29 mm. Vlastní výboj je buzen v křemenném hořáku, který má tvar koule, jenž rotuje v elektromagnetickém poli magnetronu. Výboj probíhá v parách síry, přičemž spektrum vyzařovaného světla se blíží slunečnímu. S ohledem na technickou náročnost provozu nemají tyto výbojky zatím širší uplatnění.

3.2.10 Indukční výbojky

Do okruhu nízkotlakých výbojových zdrojů patří i světelný zdroj využívající principu indukce. Tento zdroj lze právem považovat za světelný zdroj třetí generace nebo světelný zdroj budoucnosti.

Do baňky, jenž má tvar hrušky, je zatavena z jedné strany otevřená trubice, do níž se vkládá feritové jádro s indukční cívkou napájenou proudem o frekvenci 2,65 MHz. V baňce se nenachází žádné elektrody, obsahuje pouze inertní plyn a páry rtuti. Atomy rtuti vybuzené vysokofrekvenčním polem, které je vytvářené cívkou, emitují ultrafialové záření, jenž je transformováno luminoforem na viditelné světlo. Vlivem bezelektrodové konstrukce se dosahuje extrémně dlouhého života, index podání barev u těchto výbojek je dobrý.

3.2.11 LED diody

Elektroluminiscenční diody si v posledních letech ve stále větší míře nacházejí využití v nejrůznějších oblastech osvětlovací techniky. Za své rozšíření vděčí především rostoucí světelné účinnosti a měrnému výkonu.

LED dioda je elektronický prvek, který generuje světelné záření při průchodu proudem polovodičovým přechodem. Používá tedy jiný fyzikální princip než žárovky nebo výbojky a má mnoho vlastností, kterými se od klasických zdrojů světla odlišuje. Polovodičový přechod vyzařuje záření ve velmi úzké spektrum, je v podstatě monochromatické. V současné době jsou však na trhu prvky všech potřebných barev, se třemi polovodičovými čipy v jednom pouzdru, i LED diody v jednotlivých barvách vhodných pro skládání bílé. Dalším způsobem je použití LED čipu, který se uvnitř pouzdra ještě opatří vrstvou aktivní hmoty, která na principu podobném luminoforu částečně převede záření na jiné vlnové délky viditelného spektra. Čímž můžeme ve výsledku dosáhnout téměř bílé barvy. LED diody mají potenciál stát se vysoce účinným světelným zdrojem. Nejvíce zajímavé jsou nové aplikace v obecném osvětlování, kde se LED diody začínají prosazovat namísto konvenčních světelných zdrojů.

[8]

3.3 Vliv světelných zdrojů na napájecí síť

Světelné zdroje všech konstrukčních a elektrických provedení mohou být, jako i jiné spotřebiče, zdrojem elektromagnetického rušení. Jejich charakter odběru pak určuje vlastní podobu zpětných rušivých vlivů na napájecí síť. Stejně tak napájecí soustava ovlivňuje provozní vlastnosti světelných zdrojů.

I když je světelný zdroj primární tvůrcem rušení, nelze jeho zpětné rušivé vlivy hodnotit samostatně, poněvadž je do osvětlovací soustavy zapojováno značné množství zdrojů světla. V jednom objektu může dosáhnout až desítek tisíc kusů, přitom může odebíraný výkon tvořit nezanedbatelnou část spotřeby elektrické energie, například osvětlení kancelářských budov.

3.3.1 Charakter odběru a rušivé vlivy

Odběr světelného zdroje, jeho charakter je především dán principiálním typem a předřadnými obvody, které jsou buď nezbytné pro jeho činnost, či vhodným způsobem zvyšují jeho užitnou hodnotu atd.

Světelný zdroj, jako i jiné spotřebiče, se obecně vyznačuje odběrem činného výkonu P , jalového výkonu Q . Součin napětí U a odebíraného proudu I dává zdánlivý výkon S . V případě, že je odebíraný proud deformovaný, ale periodický, lze jej pomocí Fourierova teorému rozložit na řadu sinusových průběhů s frekvencemi, které jsou $v = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$ násobkem základního kmitočtu 50 Hz s efektivní hodnotou

$$I = \sqrt{\sum_{v=1}^n I_v^2} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 + \dots} \quad (2)$$

Po dosazení a za předpokladu sinusového napájecího napětí $U = U_1$ je vztah pro S :

$$\begin{aligned} S &= U_1 \cdot I = U_1 \cdot \sqrt{\sum_{v=1}^n I_v^2} = \sqrt{U_1^2 \cdot \sum_{v=1}^n I_v^2} = \sqrt{(U_1 \cdot I_1)^2 + U_1^2 \cdot \sum_{v=2}^n I_v^2} = \\ &= \sqrt{(U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1)^2 + (U_1 \cdot I_1 \cdot \sin \varphi_1)^2 + U_1^2 \cdot \sum_{v=1}^n I_v^2} = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \end{aligned} \quad (3)$$

D se nazývá deformační výkon, ten se nepodílí na činné práci - jeho střední hodnota za jednu periodu je rovna nule.

Z hlediska zpětných vlivů osvětlovací soustavy či svítidel, reprezentovaných světelnými zdroji se všemi předřadnými prvky, na napájecí síť nás tedy bude zajímat především oblast synchronních a nadsynchronních zpětných vlivů šířených v daném elektromagnetickém prostředí – po napájecím vedení.

Synchronní oblast zahrnuje nejzásadnější problematiku vzájemného fázového posuvu napětí sítě a odebíraného proudu základního kmitočtu, tedy elektromagnetická komptabilita (EMC) z hlediska odběru činných a jalových výkonů. Jde o otázku účinníku $\cos \varphi$ a vyváženosti odběru energie.

Nadsynchronní oblast je z pohledu odběru charakterizována především harmonickými a mezipharmonickými proudy, v pásmu 50 Hz až asi 3 kHz (nově až 9 kHz), v napájecím proudu, které jsou generovány do napájecí soustavy (či z ní odebírány). Mimo tyto dvě hlavní oblasti je u svítidel zkoumána i oblast rádiového, impulsového a rovněž asynchronního rušení.

Odběr spotřebiče je možno popsat různými charakteristikami, parametry, které v souhrnu popisují způsob odběru. Nejzákladnější je účinník odběru $\cos \varphi$, který udává podíl jalového příkonu na celkovém odběru lineárního spotřebiče. Je předepsaná povinnost trvale kompenzovat odběr jalové energie, jenž není uskutečňován s účinníkem $\cos \varphi = 0,95_{\text{IND}}$ až $\cos \varphi = 1$. V praxi se však odběr jalové energie kompenzuje u spotřebičů s činným příkonem $P > 25 \text{ W}$.

Parametrem odběru, který zahrnuje i deformační výkon spotřebiče, je celkový účinník λ , a jeho matematický zápis i se vztahem ke $\cos \varphi$, který je často zaměňován $\cos \varphi_1$, je pro $U=U_1$

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}} \cdot \cos \varphi_1 \quad (4)$$

Světelné zdroje s nelineární vstupní charakteristikou jsou zdroji harmonických proudů. Jejich celková úroveň se vyjadřuje celkovým harmonickým zkreslením odebíraného proudu, které je definováno dvěma následujícími vztahy, z nichž každý má své opodstatnění a nelze je zaměňovat:

$$THD_{I, \text{ČSN}} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^n I_v^2}}{I_1} \quad (5)$$

$$THD_{I, \text{IEC}} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^n I_v^2}}{I} \quad (6)$$

Světelný zdroj	P (W)	cos φ₁ (-)	λ (-)	THD_{I,ČSN} (%)	THD_{I,IEC} (%)
Žárovky					
100 W, 230 V	101	1	1	1	1
100 W, 230 V s fázovou regulací	101 až 5	0,99 až 0,4	0,99 až 0,22	5 až 155	5 až 84
halogenová 50 W, 12 V, síťový transformátor	62	0,97	0,97	6	6
halogenová 50 W, 12 V, elektronický síťový transformátor	52	1,00	0,99	10	10
Kompaktní zářivky					
18 W s interním klasickým předřadníkem	23	0,5	0,5	15	15
18 W s externím klasickým předřadníkem	22	0,5	0,5	13	13
21 W s interním elektronickým předřadníkem	17	0,96	0,52	155	84
18 W s interním elektronickým předřadníkem/HPF	20	0,97 c	0,92	23	22
42 W s externím elektronickým předřadníkem	46	0,96 c	0,94	15	15
Lineární zářivky					
T8 36 W s klasickým předřadníkem	44	0,95	0,91	32	30
T8 36 W s elektronickým předřadníkem	36	0,99 c	0,99	8	8
T8 2 x 36 W se stmívatelným elektronickým předřadníkem	67 až 10	0,99 c až 0,7 c	0,99 až 0,64	10 až 44	10 až 40
T5 28 W s elektronickým předřadníkem	32	0,99 c	0,99	6	6
Ostatní světelné zdroje					
400 W halogenidová výbojka s klasickým předřadníkem	450	0,95	0,94	15	15
400 W vysokotlaká sodíková výbojka s klasickým předřadníkem	425	0,99	0,99	10	10
osvětlovací systémy s diodami LED a polymery LEP	-	-	0,98 až 0,5	10 až 155	10 až 84

Tab. 3 Příklady charakteristik odběru pro různé světelné zdroje
(Pozn. c znamená kapacitní zátěž)

3.3.1.1 Žárovky a halogenové žárovky

Mezi základní, ale také nejméně energetický výhodné zdroje patří žárovky. Ty ovšem při tom nejjednodušším připojení, jako lineární spotřebič, nepředstavují pro napájecí soustavu zátěž, se kterou by bylo třeba z hlediska zpětných rušivých vlivů počítat.

Pro zvýšení užité hodnoty mohou být vybaveny regulací světelného toku, v současné době výhradně fázovou regulací. V tomto případě jsou ale generovány harmonické proudy, jejichž maximální celková úroveň je vzhledem k limitnímu spínacímu úhlu $\alpha = 145^\circ$ $THD_{I,IEC} = 84 \%$. Vzhledem k tomu, že zároveň nastává i posuv mezi napětím a proudem na základní harmonické, je hodnota celkového účinníku nízká a snižuje se s řídicím úhlem α .

3.3.1.2 Výbojové světelné zdroje

Tuto skupinu zdrojů tvoří výbojky, jejich součástí je vždy obvod či prvek předřazený výbojovému prostoru, který ovlivňuje činnost výbojky ve všech jejích provozních stavech.

Výbojky s klasickým indukčním předřadníkem

Nejrozšířenější jsou zářivky provozované s klasickým indukčním předřadníkem, od příkonu 25 W i s kompenzací. Přes všechny konstrukční varianty výbojových prostorů zůstává podstata elektrického obvodu stejná a jednotlivé verze nemají výrazný vliv na jejich charakteristické elektrické vlastnosti. Mez jednotlivými předřadníky samozřejmě existují rozdíly, které vyplývají z designu a vlastního provedení magnetického obvodu a vinutí směřující k minimalizaci energetických ztrát.

Indukční charakter předřadníku v ustáleném provozu zatěžuje síť odběrem jalové energie a podle různých velikostí magnetického obvodu je účinník v rozmezí $\cos \varphi = 0,35$ až 0,6. Indukční předřadník rovněž odebírání, vzhledem k přesycení magnetického obvodu, zkreslený (nesinusový) proud. Tato záležitost souvisí přímo s jejich dimenzováním a celkovým návrhem magnetického obvodu předřadníku s cílem dosáhnout větších úspor elektrické energie. V praxi se celkové harmonické zkreslení odebíraného proudu předřadníkem a výbojovým prostorem pohybuje v rozmezí $THD_{I,IEC} \sim 10$ až 20 %.

Hodnoty kapacit kompenzačních kondenzátorů jsou pro jednotlivé předřadníky doporučeny jejich výrobcem, a to tak, aby hodnota vykompenzovaného účinníku $\cos \varphi_1$ byla v rozmezí $\cos \varphi_1 = 0,9$ až 0,95_{IND}. Ovšem zároveň vzroste i podíl harmonických složek v odebíraném proudu a tím i THD_I , které v podstatě dosahuje hodnot $THD_{I,IEC} \sim 15$ až 35 %. Připojí-li se tento obvod na sinusové napětí, kondenzátor kompenzuje jalovou složku proudu na základní harmonické a tím snižuje její efektivní hodnotu, při čemž velikost generovaných harmonických proudů zůstává konstantní.

Obdobným způsobem lze hodnotit i ostatní výbojové zdroje s klasickým indukčním předřadníkem, jako jsou rtuťové, sodíkové a halogenidové výbojky.

Výbojky s elektronickým předřadníkem

Rozvoj elektronických obvodů dal vzniknout elektronickým předřadníkům založených na principu napěťového střídače, které přinesly vylepšení mnoha provozních parametrů. Podstatným pro charakter odběru je obvod po střídač, napájený ze stejnosměrného meziobvodu. Elektrický obvod předurčuje mírný kapacitní charakter odběru s vysokými úrovněmi generovaných harmonických proudů s $THD_{I,IEC} = 78$ až 85%.

Impulsní průběh odebíraného proudu může být zmírněn správně zvolenými elektronickými prvky obvodu nebo přídavným síťovým transformátorem, s jehož pomocí lze splnit požadavky příslušné normy. Charakter odběru však tímto způsobem nelze potlačit. Důvodem je zejména velikost kondenzátoru v DC obvodu, která je ale nezbytná pro udržení požadované úrovně DC napětí na měniči. Částečným řešením s minimálními náklady na součástkovou základnu je doplnění o obvod řízení nabíjení kondenzátoru, kterým je pasivní obvod PFC (Power Factor Corrector). Jeho působením se sníží úroveň harmonických proudů generovaných předřadníkem až asi na polovinu. Přestože má i jisté nevýhody, je s podivem, že není používán alespoň právě pro kompaktní zářivky s integrovaným elektronickým předřadníkem. Nevýhodou je modulace výstupního proudu měniče, která je dána velkým zvlněním napětí na DC sběrnici, což poněkud zkracuje život výbojky.

Pro světelné zdroje s příkonem $P > 25$ W je vzhledem k limitům harmonických proudů normy nutné takové opatření, které úplně změní koncepci obvodu, a to z pasivního na aktivní. Plným řízením nabíjení kondenzátoru pro napájení střídače lze dosáhnout téměř sinusového průběhu odebíraného proudu namísto impulsního. Obvod, který tuto funkci zajišťuje, je aktivní obvod PFC (měnič – „boost“ konvertor). Je nutné upozornit na to, že někdy bývá tento obvod chybně nazýván aktivní filtr, neboť se v podstatě jedná o DC-AC měnič, přes který je přímo či nepřímo, na rozdíl od aktivního filtru, transportována celá energie.

Způsob vlastního řízení obvodu PFC (PWM) určuje podobu a úroveň rušení těchto předřadníků, přičemž návrh je optimalizován a směřován tak, aby při sinusovém napájecím napětí předřadník odebíral sinusový proud (bez harmonických složek do 50. harmonické). To je ideální stav. Ale lze se mu přiblížit optimalizací nabíjení a vybíjení kondenzátoru v DC obvodu, které do značné míry závisí právě na zpracovaném řízení.

Vhodné řídicí jednotky používané výrobci jsou např. s děleným koordinovaným řízením a se společnými řízením. Verze používaná výrobci tak generuje harmonické proudy (do 50. harmonické) s celkovou úrovní $THD_{I,IEC} = 5$ až 40 %.

V případě verze elektronického předřadníku s regulací se v podstatě snižuje úroveň základní harmonické, ale efektivní hodnota generovaných harmonických proudů zůstává přibližně stejná (nebo se i mění v závislosti na provedení regulace).

Elektronické předřadníky jsou konstruovány i pro jiné výbojky či nestandardní světelné zdroje, jsou však také zdroji proudů s frekvencemi desítek kilohertzů. Na jedné straně v užitečném signálu pro napájení výbojového prostoru (25 až 50 kHz) a na straně druhé jako následek řízení obvodu PFC, jehož spínáním jsou do napájecí soustavy generovány proudy stejných frekvencí (nyní obvykle okolo 50 kHz). Proto je třeba sledovat jejich interference se systémy pracujícími v této oblasti (rádiové frekvence, IR systémy, regulace multimediálních a audiovizuálních systémů atd.).

[4]

3.3.2 Vliv napájecího napětí na světelné zdroje

Určování vlivů a dopadů napájecího napětí na světelné zdroje, přesněji na jejich odběrové charakteristiky a světelnotechnické charakteristiky, souhrnně patří do oblasti citlivosti světelných zdrojů na nízkofrekvenční rušení. Protože je ale otázka rušivých vlivů OS na napájecí síť, budeme se nadále orientovat především na deformaci napětí, která spolu s jeho efektivní hodnotou nejvíce ovlivňuje odběr světelných zdrojů.

Při současném používání nelineárních spotřebičů se lze s deformací napětí setkat ne-li vždy, tedy alespoň často, a samozřejmě že při napájení světelných zdrojů nesinusovým napětím se změní i toky proudů a výkonů.

Výbojky jsou v provozu na napájecí síť zapojeny s tlumivkou v sérii, jenž nastavuje pracovní bod výbojky a při daném napájecím napětí stabilizuje parametry výbojky (obvod bez kompenzačního kondenzátoru). Vzhledem k tomu, že impedance tlumivky je přímo úměrná frekvenci napájecího napětí,

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (7)$$

bude proud odebíraný na příslušné harmonické odpovídající harmonické napětí menší, než by byl na základní harmonické o stejné velikosti. Je tedy zřejmé, že předřadník tlumí změny napájecího napětí. Je-li však výbojka s tlumivkou provozována s kompenzačním kondenzátorem, situace se změní. Kondenzátor bude odebírat proudy odpovídající harmonickým napětím s tím, že jeho impedance klesá s frekvencí.

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \quad (8)$$

Kondenzátor je tedy velmi citlivý na změny v napájecím napětí a v podstatě zesiluje napětíové změny se zvětšením odebíraného proudu, zhoršením charakteristik odběru, rovněž i tak otázka optimální kompenzace se tím komplikuje.

Elektronické předřadníky s impulsním odběrem jsou charakteristické velmi malou impedancí v době, kdy vedou proud. Je to dáno kondenzátorem v DC obvodu a jeho odběr ovlivní právě časové změny napětí v okamžiku nabíjení. Tvar vrcholu vlny napětí je tedy rozhodující a nemusí charakter odběru ve sledovaných charakterech nutně zhoršit. Elektronické

předřadníky s aktivními obvody PFC se při deformaci napájecího napětí chovají přibližně jako teplotní zdroje - žárovky, halogenové žárovky (v závislosti na konkrétní provedení).

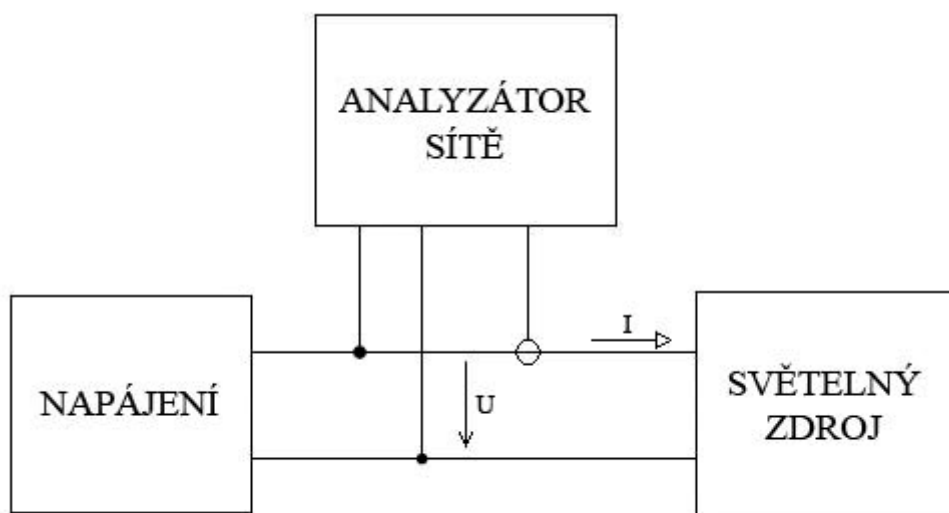
[5]

4 Vyhodnocení měření

4.1 Měření

Na vybraných světelných zdrojích byla provedena analýza kvality elektrické energie pomocí přístroje BK ELCOM ENA 500.12 s využitím dálkové správy pomocí připojeného notebooku a potřebné programové aplikace. Světelné zdroje, až na 1000 W halogenidovou výbojku OSRAM, byly napájeny ze stabilizovaného zdroje EDGAR CW 801.

Zapojení daných přístrojů je znázorněno na Obr. 11. Měření bylo prováděno na jednofázové síti, na stabilizovaném zdroji bylo nastaveno napětí 230 V a frekvence 50 Hz.



Obr. 11 Blokové schéma měření

4.1.1 Vlastnosti použitých přístrojů

BK ELCOM ENA 500.12

Jedná se o analyzátor sítě s možností měřit v 1-fázové, 3-fázové, 3-fázové + N, hvězda, trojúhelník a Aron zapojení. Přístroj je vybaven 16 bitovým A/D převodníkem, operační pamětí 512 MB, pevným diskem 40 GB.

	Vstupy	
	napětí	proudu
Rozsah	450, 250, 110, 65 V	dle proud. kleští
Šířka pásma	45 Hz až 2,5 kHz	
Přesnost	+/- 0,1 %	+/- 0,1 %

Tab. 4 Vlastnosti analyzátoru sítě

[6]

EDGAR CW 801

Jedná se o stabilizovaný zdroj, jehož vlastnosti jsou:

- napětíový rozsah 0 až 270 V AC RMS,
- přesnost 1 % z rozsahu pro napětí větší než 5 V,
- rozlišení 0,1 V,
- celkové harmonické zkreslení 0,25 % pro frekvenci do 100 Hz, + 0,5 %/100 Hz při frekvenci nad 100 Hz,
- rozsah frekvence 45 až 500 Hz s přesností +/- 0,5 %.

[7]

4.1.2 Zkoumané světelné zdroje

Pro měření byly vybírány různé druhy zdrojů elektrického světla o různých výkonech. Většina zkoumaných předmětů byla napájena ze stabilizovaného zdroje až na halogenovou výbojku OSRAM 1000 W a 150 W žárovku TESLA, jenž byly napájeny z distribuční sítě. Na žárovce byly provedeny dvě měření. V prvním případě byla napájena ze zdroje a ve druhém z distribuční sítě, a to z důvodů porovnání vlastností obou zdrojů elektrické energie.

Měření bylo prováděno na těchto světelných zdrojích:

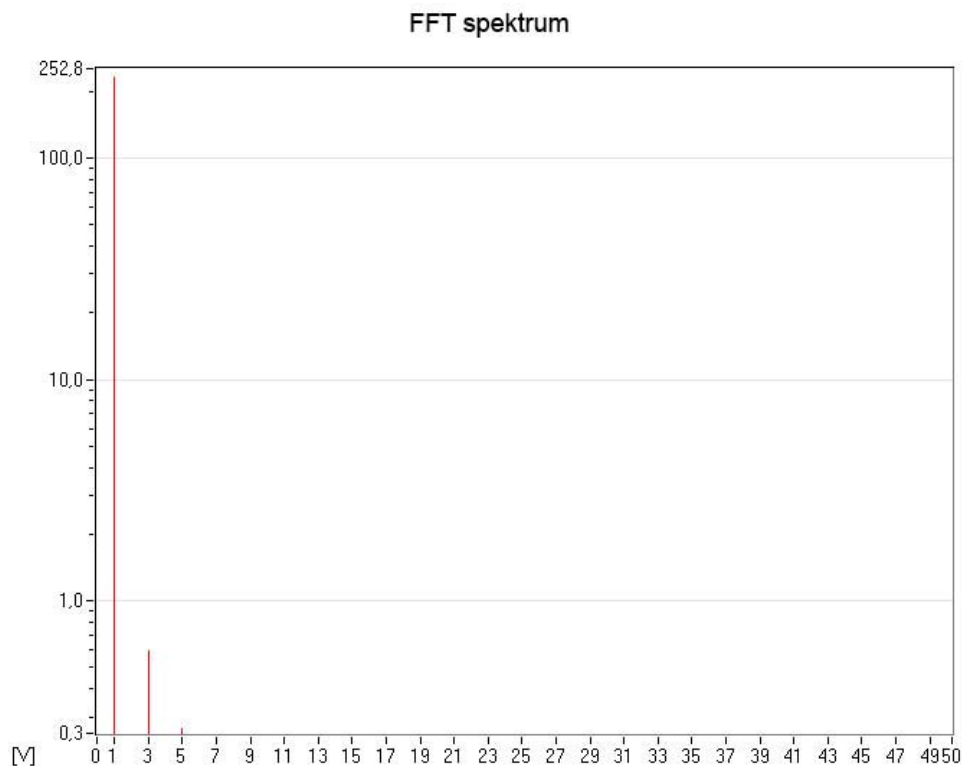
1. halogenidová výbojka OSRAM 150 W,
2. halogenidová výbojka OSRAM 1000 W,
3. pole s 28 LED diodami o výkonu 45 W,
4. kompaktní zářivka OSRAM 23 W s elektronický předřadníkem,
5. metalhalogenidová výbojka PHILIPS 150 W,
6. žárovka TESLA 150 W.

4.2 Rozbor naměřených dat

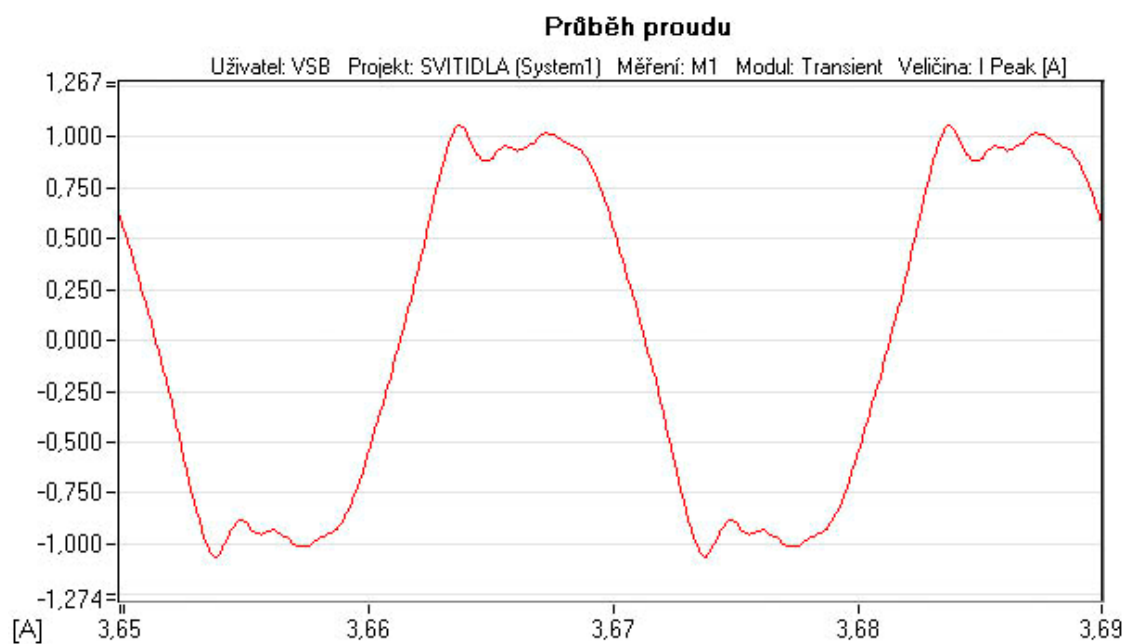
Naměřená data byla zpracována v programu PostProcessing PQM od firmy ELCOM, všechny použité závislosti související s měřením byly vykresleny tímto programem, jenž má mnoho možností zpracování dat, od vykreslení jednotlivých veličin v závislosti na čase až po Fourierovu transformaci.

4.2.1 Výbojka OSRAM 150W

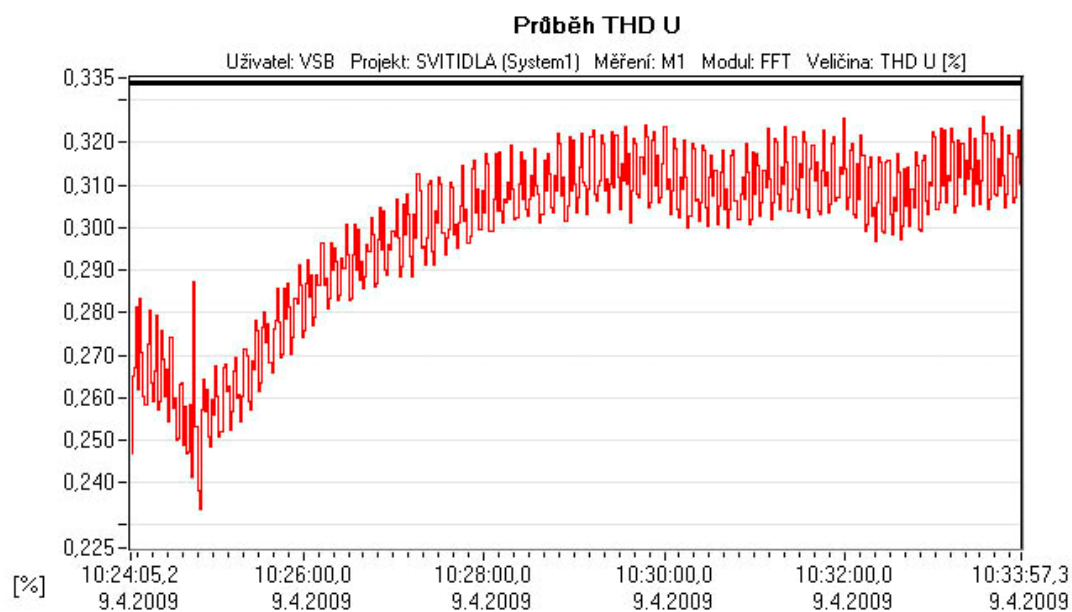
Z naměřených hodnot bylo zjištěno, že v ustáleném stavu je účinník $\cos \varphi$ roven 0,911 a celkový účinník λ je roven 0,896. Na Obr. 12 lze vidět, že kromě základní 1. harmonické obsahuje napětí také 3. a 5. harmonickou. Poněvadž jsou malé, nelze na výsledném průběhu napětí vidět žádnou větší deformaci. Toto již však nelze říct o průběhu proudu, u něhož je značná deformace špiček sinusového průběhu, což lze vidět na Obr 13. Celkové harmonické zkreslení napětí se pohybuje kolem 0,31 % v ustáleném stavu, průběh THD U je znázorněn na Obr 14.



Obr. 12 Harmonické obsažené v napětí



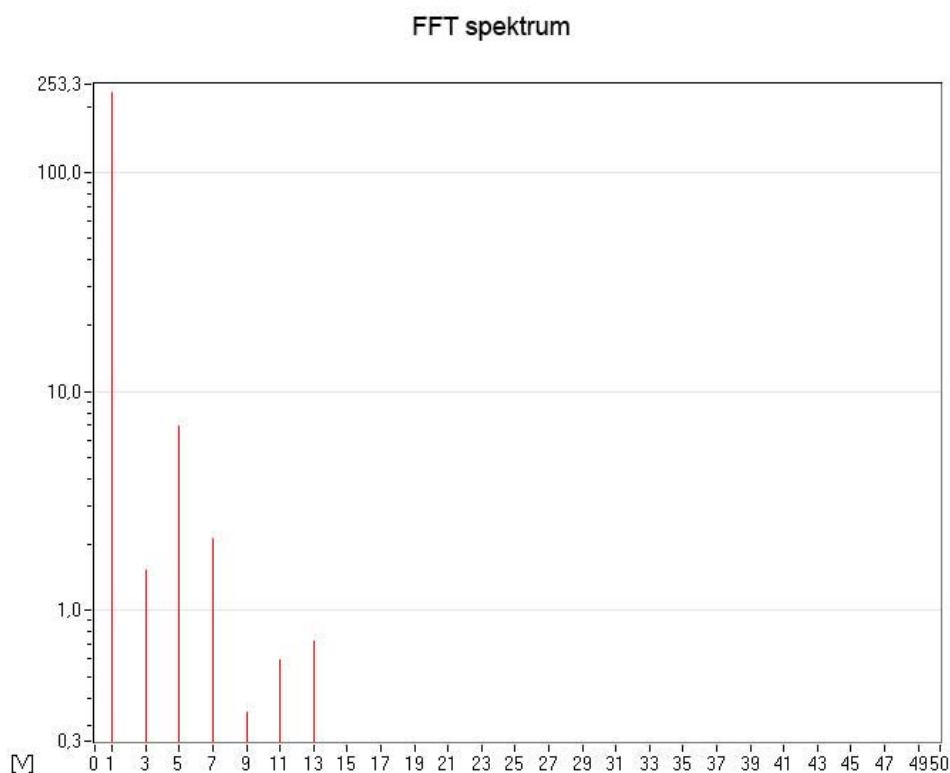
Obr. 13 Průběh proudu výbojky OSRAM 150 W



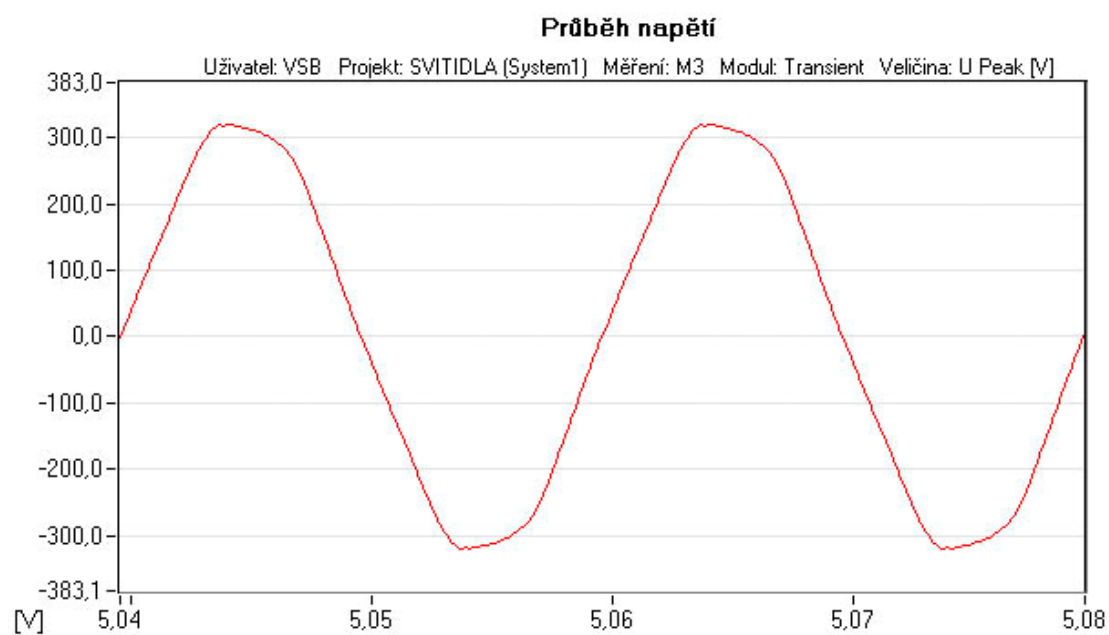
Obr. 14 Průběh celkového harmonického zkreslení napětí v %

4.2.2 Výbojka OSRAM 1000 W

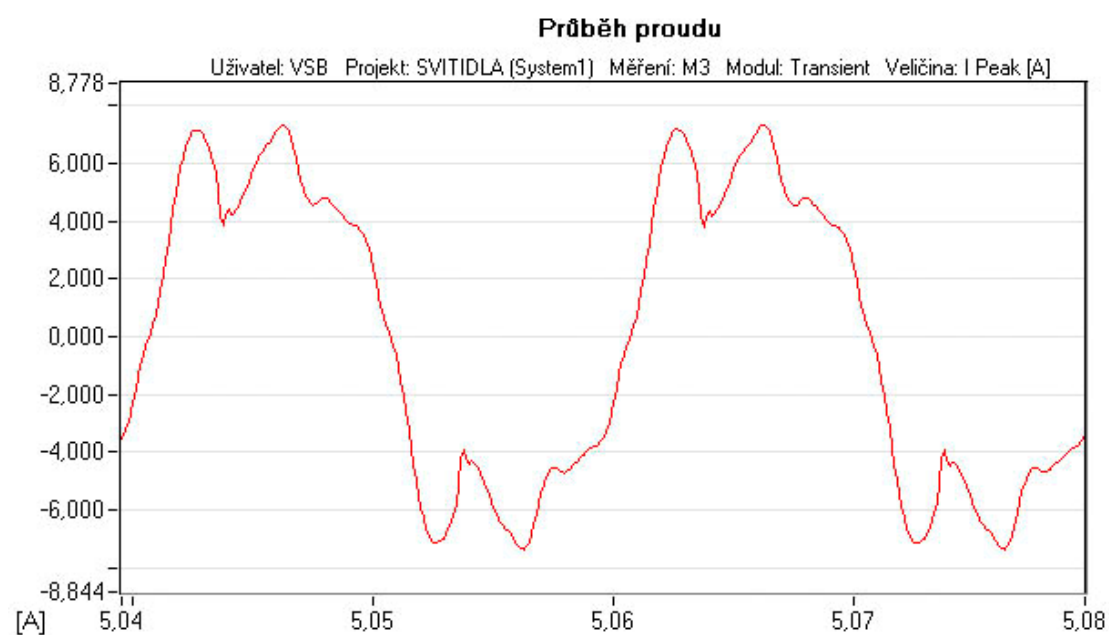
Z naměřených hodnot bylo zjištěno, že v ustáleném stavu je účinník $\cos \varphi$ roven 0,971 a celkový účinník λ je roven 0,935. Na Obr. 15 lze vidět, že napětí obsahuje kromě základní také 3., 5., 7., 11. a 13. harmonickou složku. Ovšem tyto hodnoty jsou ovlivněny distribuční sítí, jejíž harmonické lze pozorovat na Obr. 31. Po provedení korekce (odhad vlivu napájecí sítě na naměřená data), dostaneme 3. a 5. harmonickou přibližně totožnou jako u halogenidové 150W výbojky OSRAM. Na Obr. 16 je znázorněn vývoj napětí v čase. Průběh proudu je značně zdeformován, viz Obr. 17. Na tuto vlastnost má jen malý vliv napájení z distribuční sítě. Celkové harmonické zkreslení napětí (i s přispěním sítě) se pohybuje kolem 3,15 % v ustáleném stavu, průběh THD U je možno shlédnout na Obr. 18.



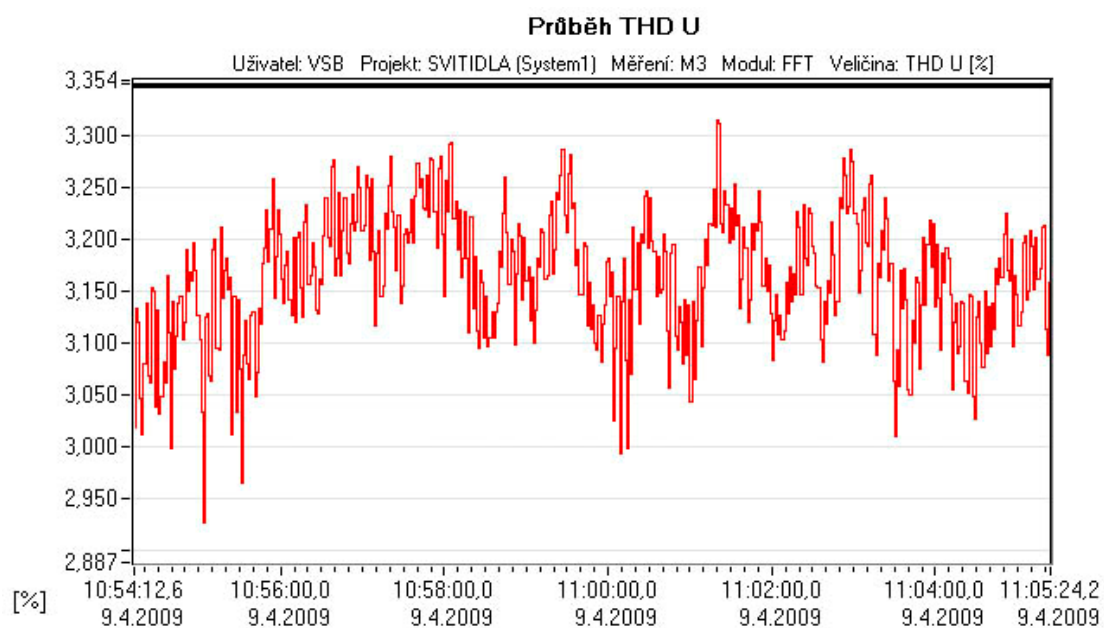
Obr. 15 Harmonické obsažené v napětí



Obr. 16 Průběh napětí výbojky OSRAM 1000 W



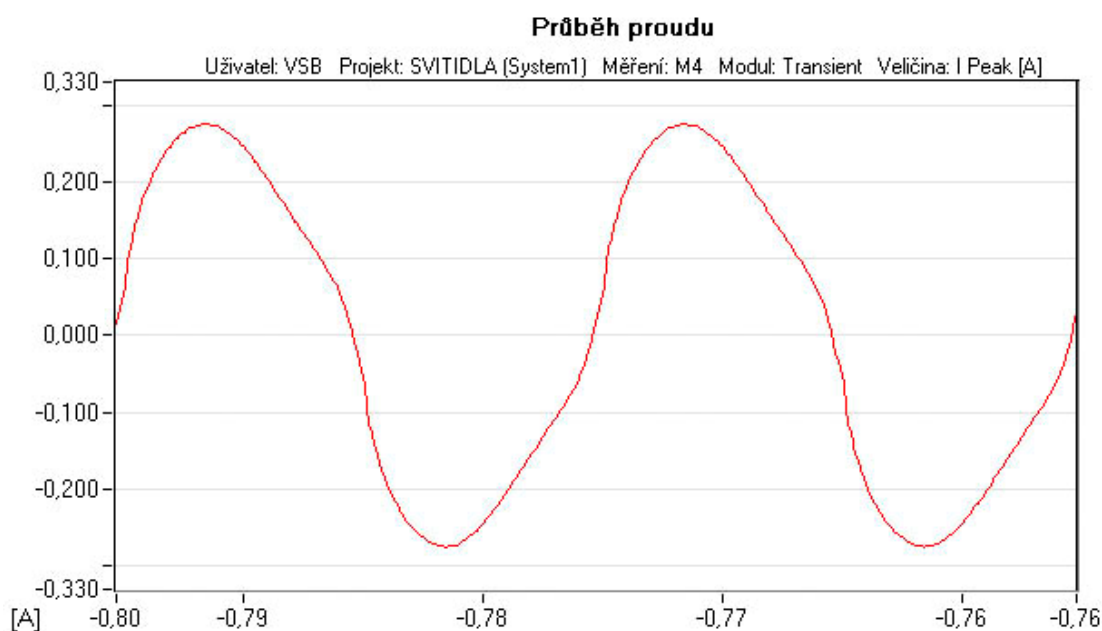
Obr. 17 Průběh proudu výbojky OSRAM 1000 W



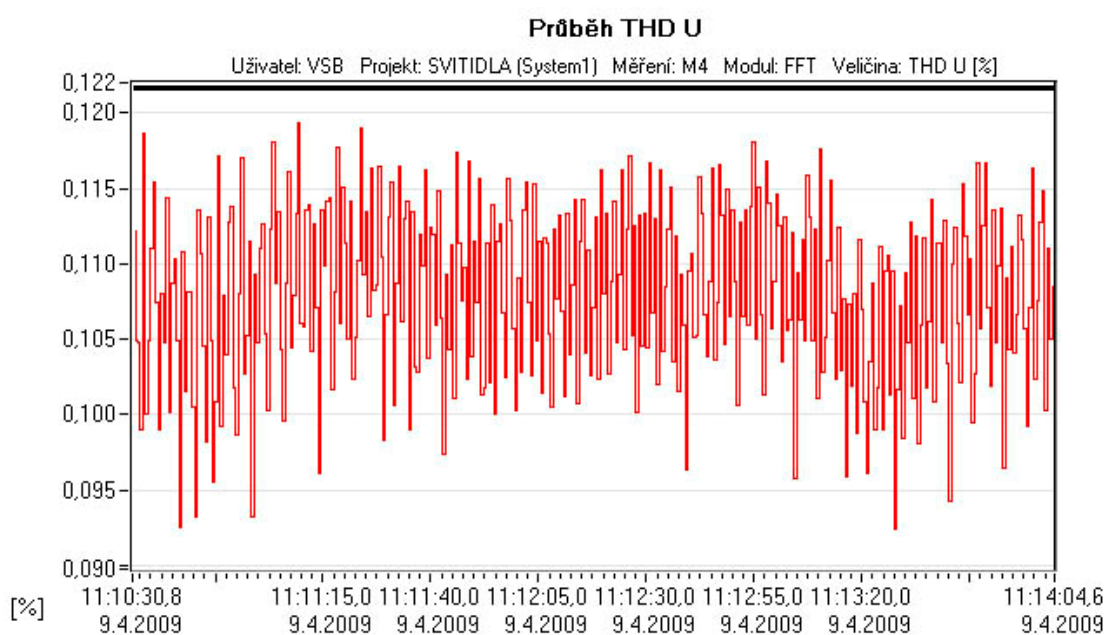
Obr. 18 Průběh celkového harmonického zkreslení napětí v %

4.2.3 Pole s LED diodami

Měřením na tomto zdroji elektrického světla bylo zjištěno, že v ustáleném stavu je účinník $\cos \varphi$ roven 0,984 a celkový účinník λ je roven 0,975. Fourierova transformace ukázala pouze základní harmonickou, což se projevilo i na průběhu napětí, jenž je čistě sinusový. Toto již však nelze tvrdit o průběhu proudu, jenž je zachycen na Obr. 19. Celkové harmonické zkreslení napětí se pohybuje kolem 0,105 % v ustáleném stavu, průběh THD U je znázorněn na Obr.20.



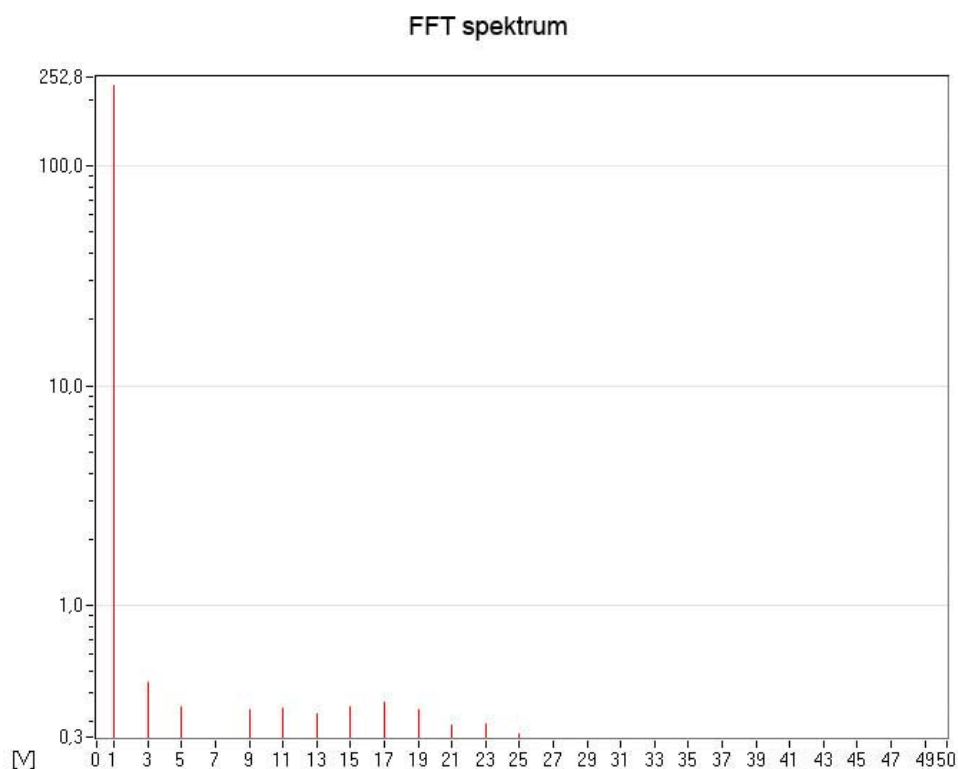
Obr. 19 Průběh proudu pole s LED diodami



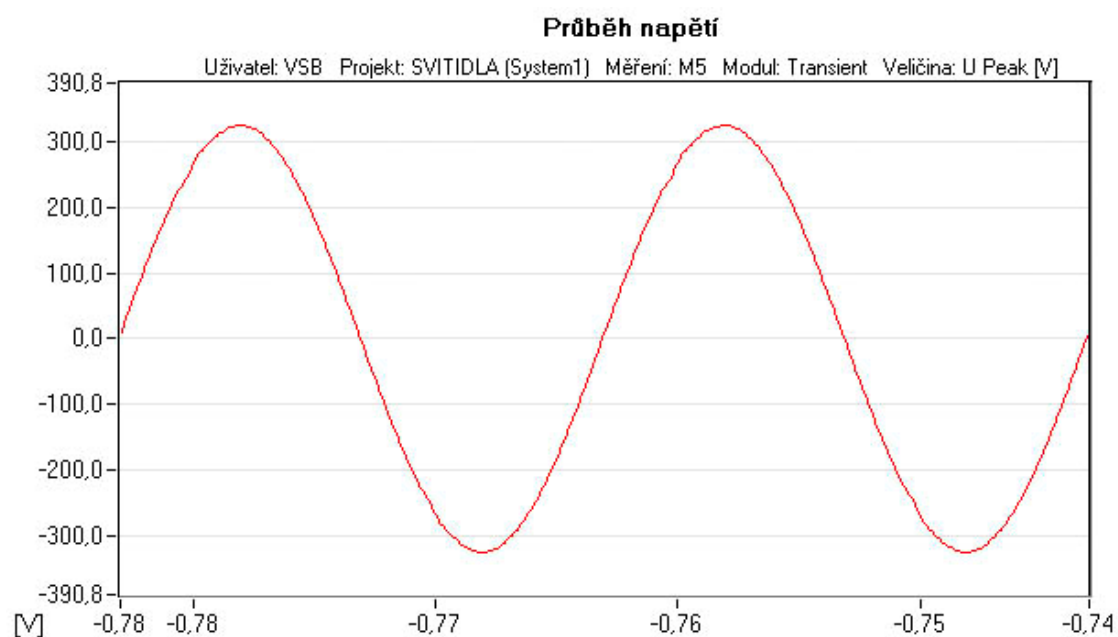
Obr. 20 Průběh celkového harmonického zkreslení napětí v %

4.2.4 Kompaktní zářivka OSRAM 23 W

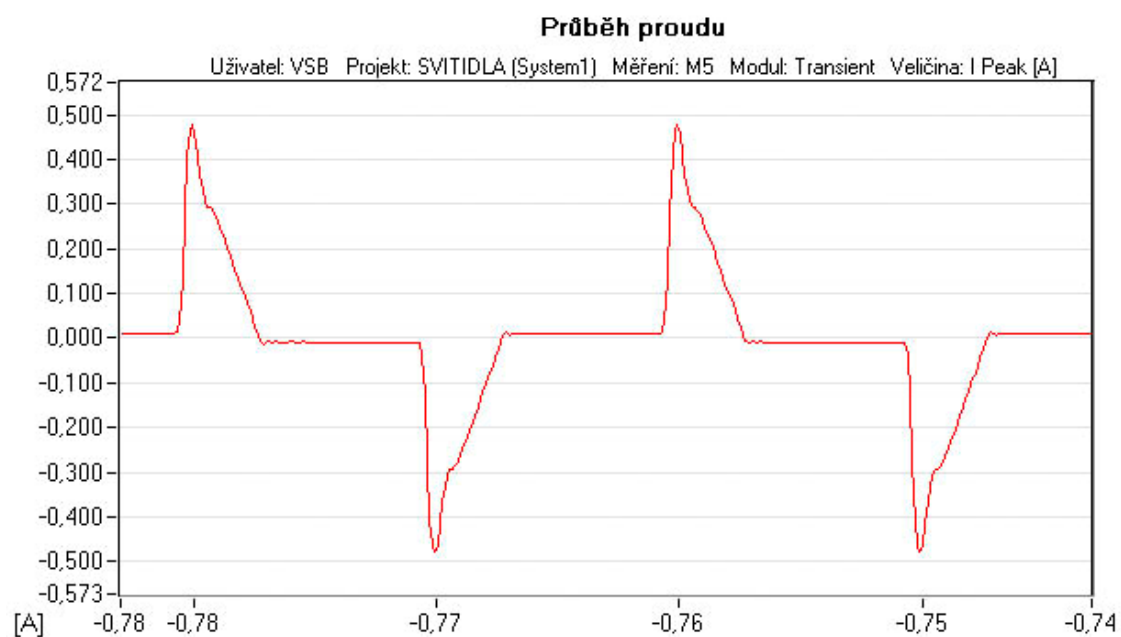
Z naměřených hodnot bylo zjištěno, že v ustáleném stavu je účinník $\cos \varphi$ roven 0,887 a celkový účinník λ je roven 0,612. Na obr. 21 lze vidět liché harmonické až do 25., kromě 7. harmonické. Průběh proudu je pilovitého tvaru (viz. Obr. 23), při maximální hodnotě proudu lze pozorovat na průběhu napětí menší deformaci sinusového průběhu. Celkové harmonické zkreslení napětí se pohybuje kolem 0,47 % v ustáleném stavu, průběh THD U je uveden na Obr 24.



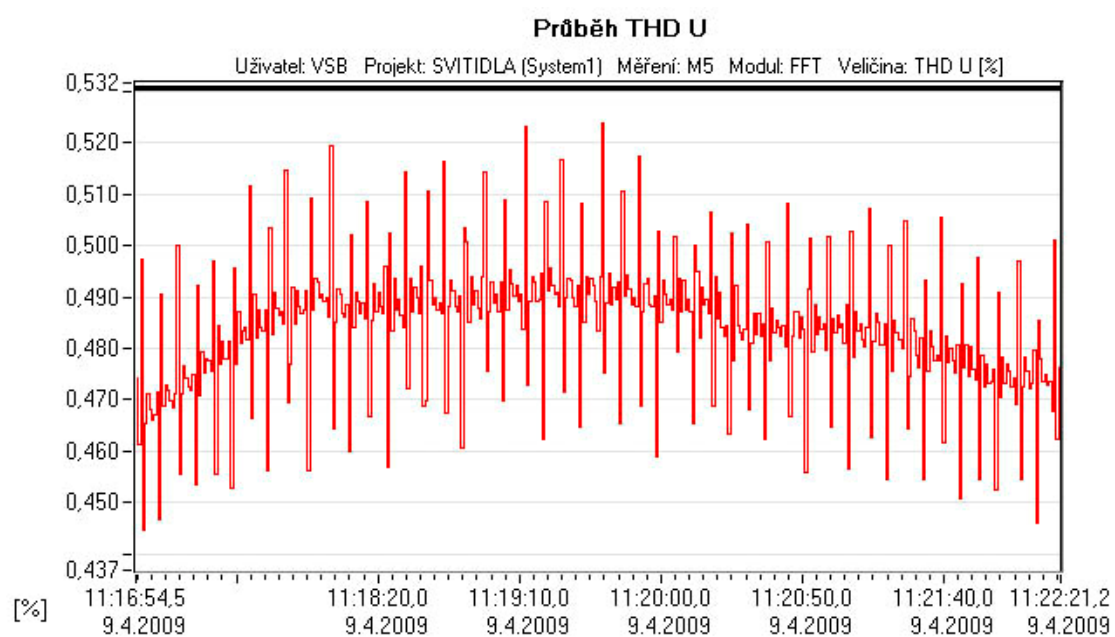
Obr. 21 Harmonické obsažené v napětí



Obr. 22 Průběh napětí kompaktní zářivky OSRAM 23 W



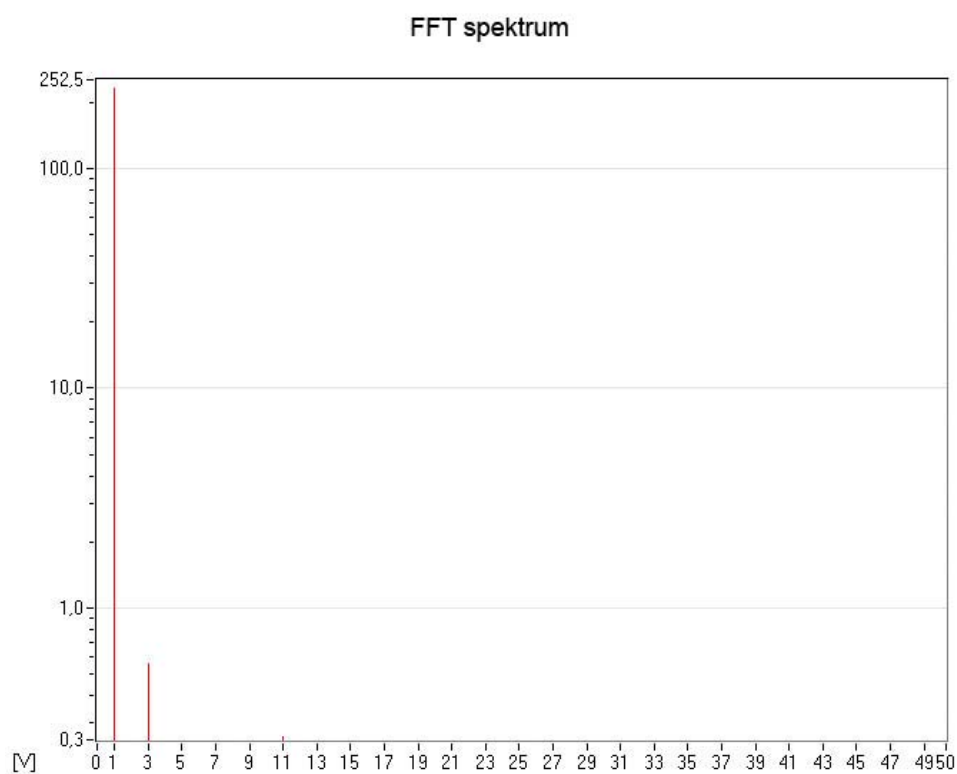
Obr. 23 Průběh proudu kompaktní zářivky OSRAM 23 W



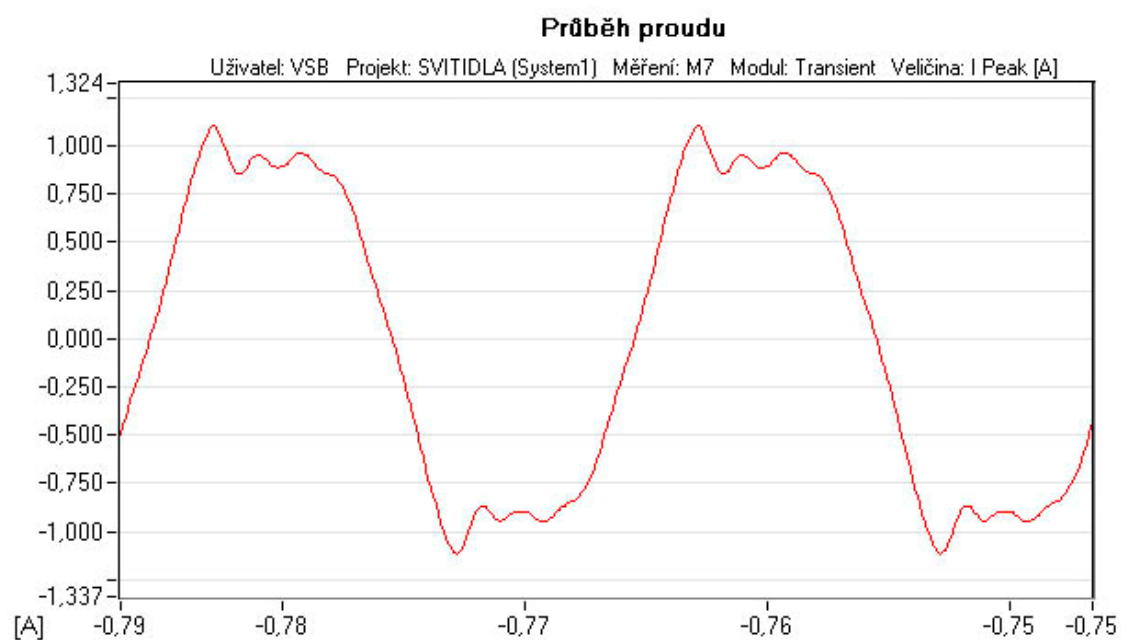
Obr. 24 Průběh celkového harmonického zkreslení napětí v %

4.2.5 Výbojka PHILIPS 150 W

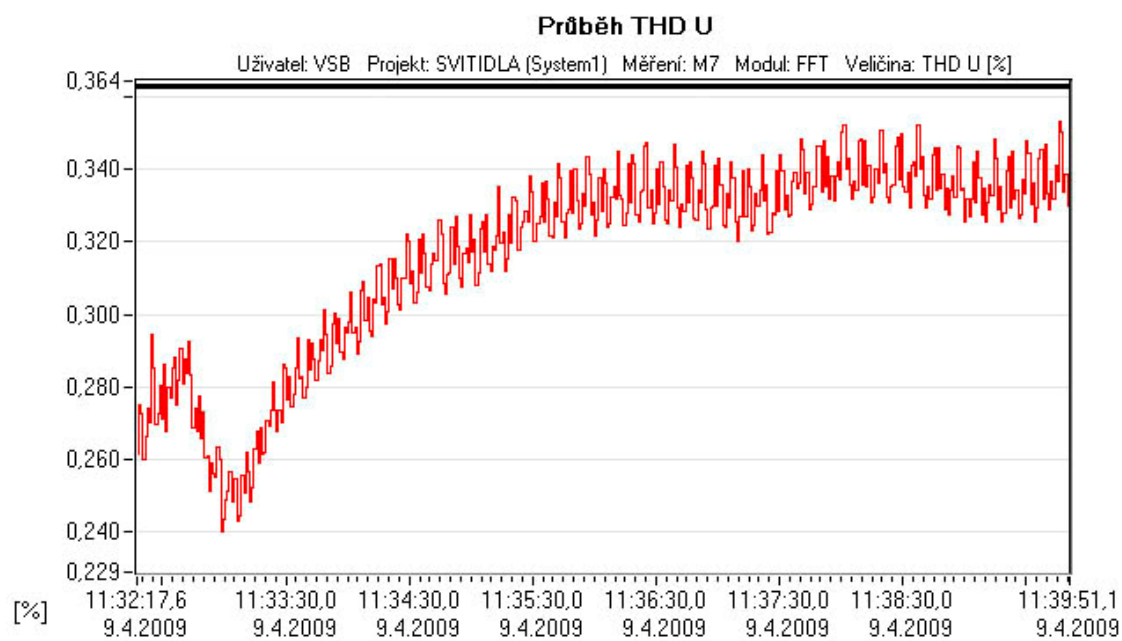
Z naměřených hodnot bylo zjištěno, že v ustáleném stavu je účinník $\cos \varphi$ roven 0,943 a celkový účinník λ je roven 0,926. Na obr. 25 je zobrazen výsledek Fourierovy transformace, v tomto případě základní 1. harmonická a také 3. harmonická. Průběh napětí je čistě sinusový, avšak to již neplatí u proudu, jehož sinusová křivka je značně zdeformovaná (Obr. 26). Celkové harmonické zkreslení napětí se pohybuje kolem 0,33 % v ustáleném stavu, průběh THD U je znázorněn na Obr. 27.



Obr. 25 Harmonické obsažené v napětí



Obr. 26 Průběh proudu výbojky PHILIPS 150 W



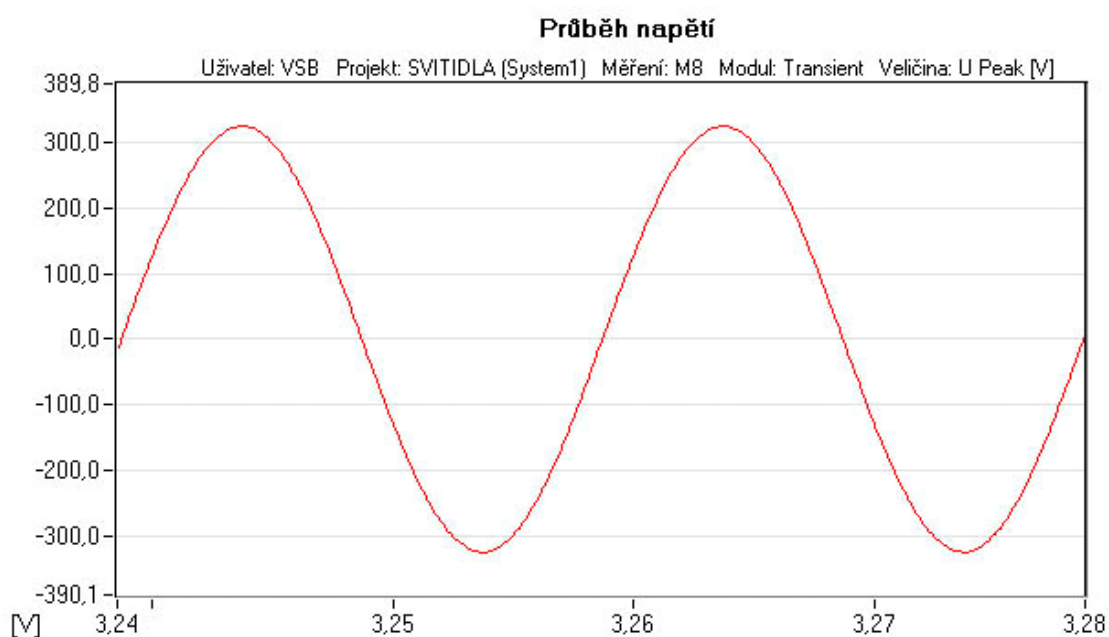
Obr. 27 Průběh celkového harmonického zkreslení napětí v %

4.2.6 Žárovka TESLA 150 W

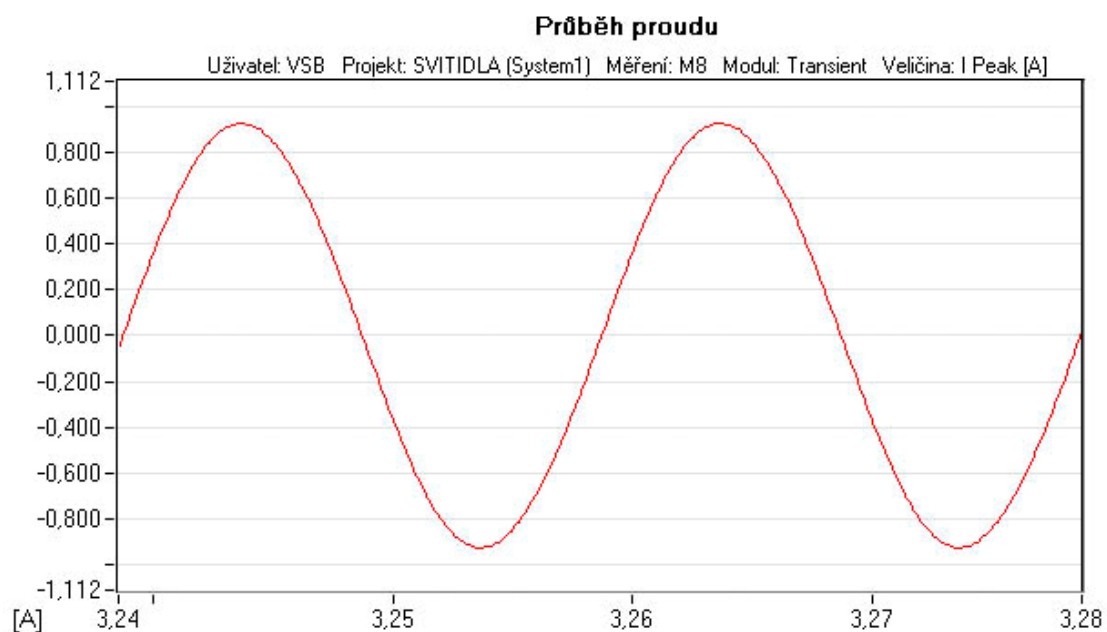
Na tomto zdroji elektrického světla byly provedeny dvě různá měření, čímž se názorně ukázal charakter distribuční sítě.

Napájení ze stabilizovaného zdroje

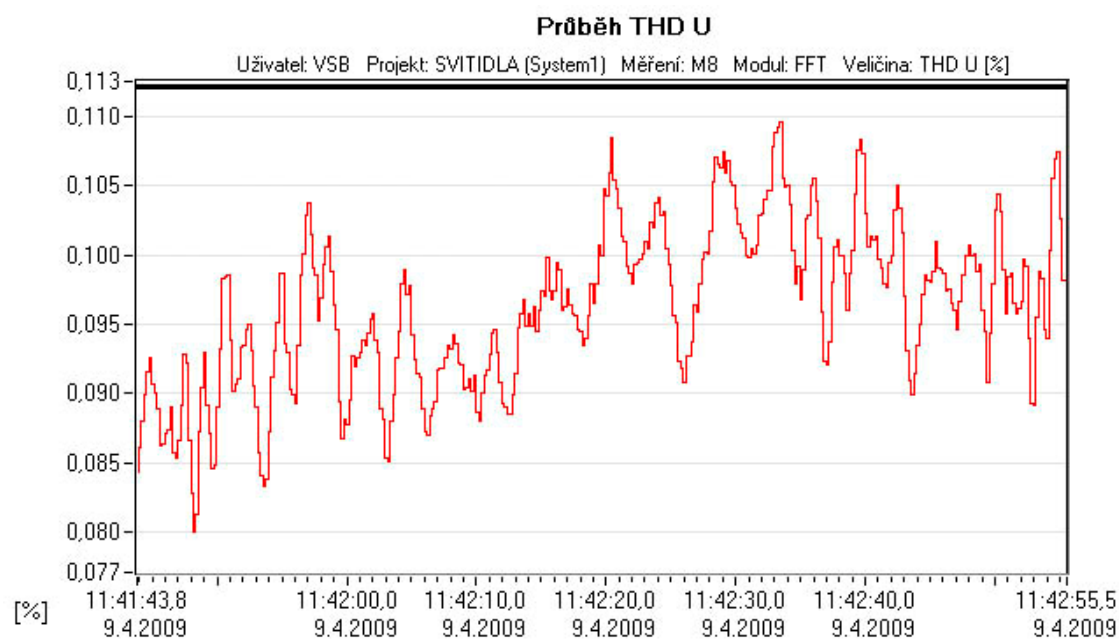
Z naměřených hodnot bylo zjištěno, že v ustáleném stavu je účinník $\cos \varphi$ a celkový účinník λ roven 1. Rozložením na dílčí harmonické, byla zjištěna přítomnost pouze základní harmonické, průběh napětí i proudu je čistě sinusový (viz. Obr. 28 a 29). K menší deformaci sinusových křivek došlo pouze ve chvíli připojení žárovky k napájecímu zdroji. Celkové harmonické zkreslení napětí se pohybuje kolem 0,1 % v ustáleném stavu, průběh THD U je uveden na Obr. 30.



Obr. 28 Průběh napětí žárovky TESLA 150 W



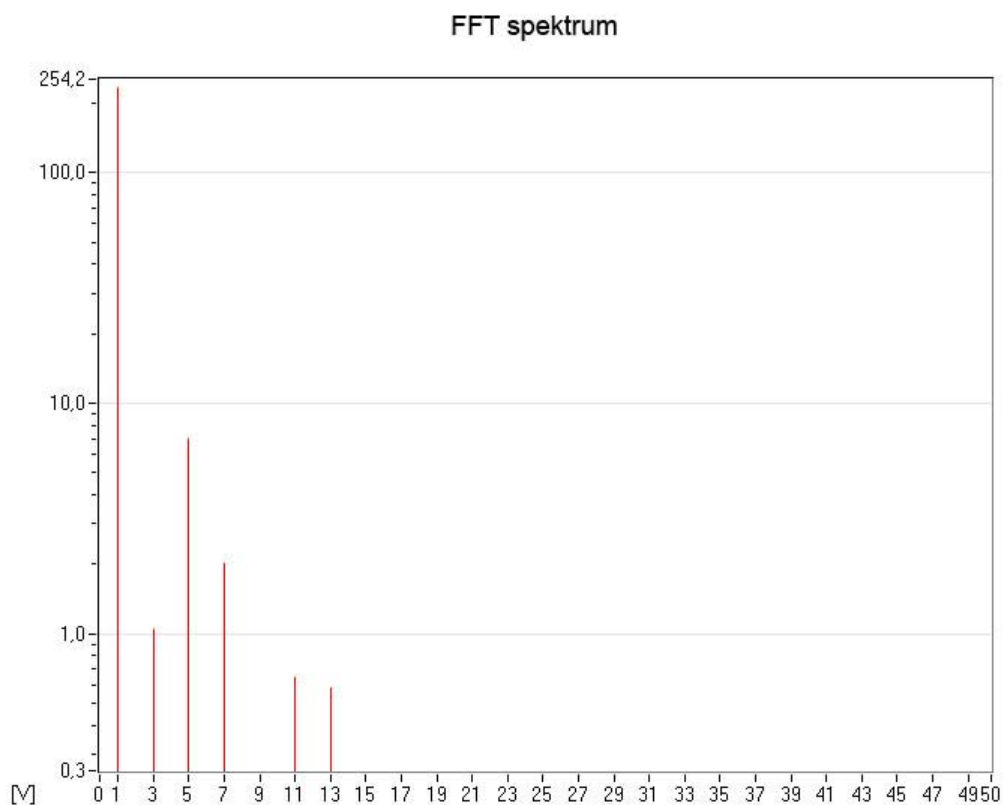
Obr. 29 Průběh proudu žárovky TESLA 150 W



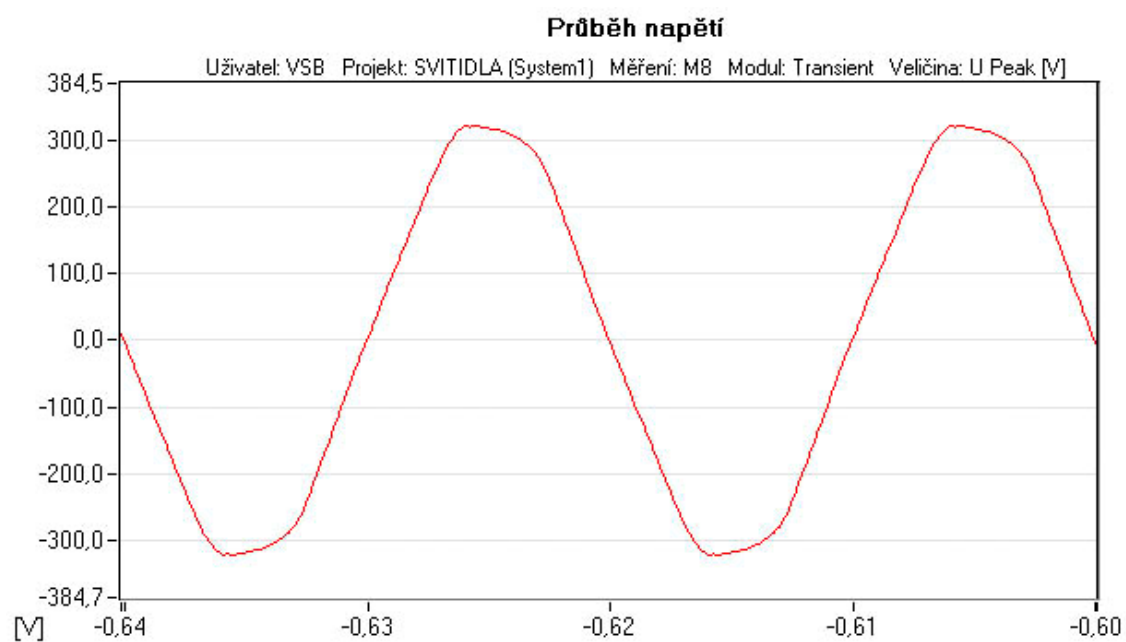
Obr. 30 Průběh celkového harmonického zkreslení napětí v %

Napájená z distribuční sítě

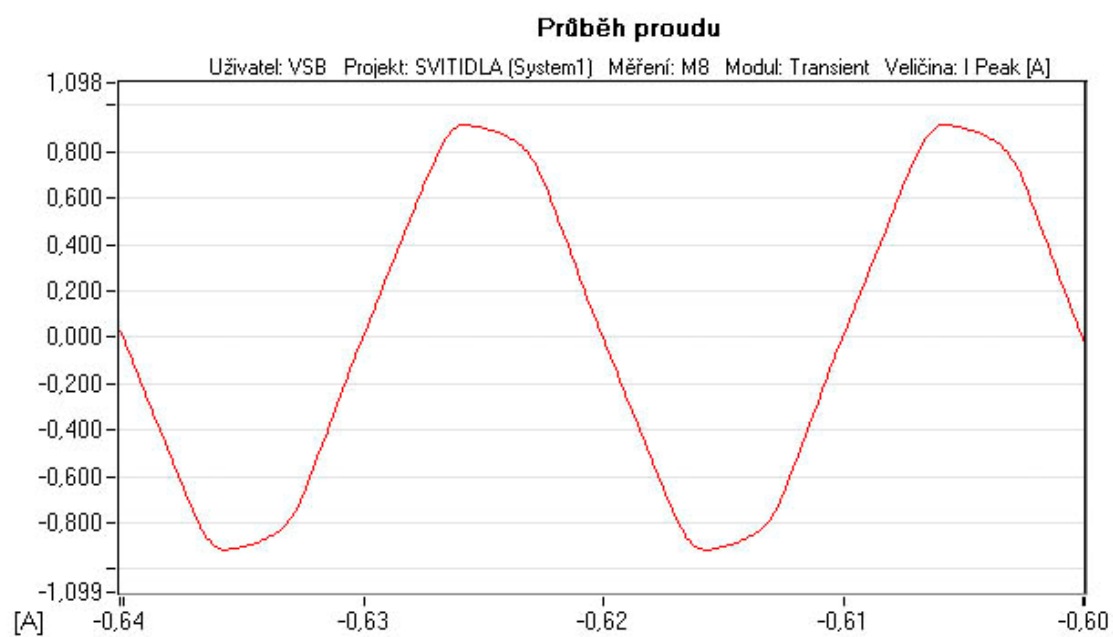
Účinník $\cos \varphi$ a celkový účinník λ je stejný jako v případě napájení ze stabilizovaného zdroje. Na obr. 31 lze vidět, že napětí obsahuje kromě základní také 3., 5., 7., 11. a 13. harmonickou. Zdrojem těchto harmonických ovšem není žárovka, nýbrž samotná distribuční síť. Toto platí i pro deformaci průběhu napětí a proudu (viz. Obr. 32 a 33). Celkové harmonické zkreslení napětí se pohybuje kolem 3,2 % v ustáleném stavu, průběh THD U je znázorněn na Obr. 34.



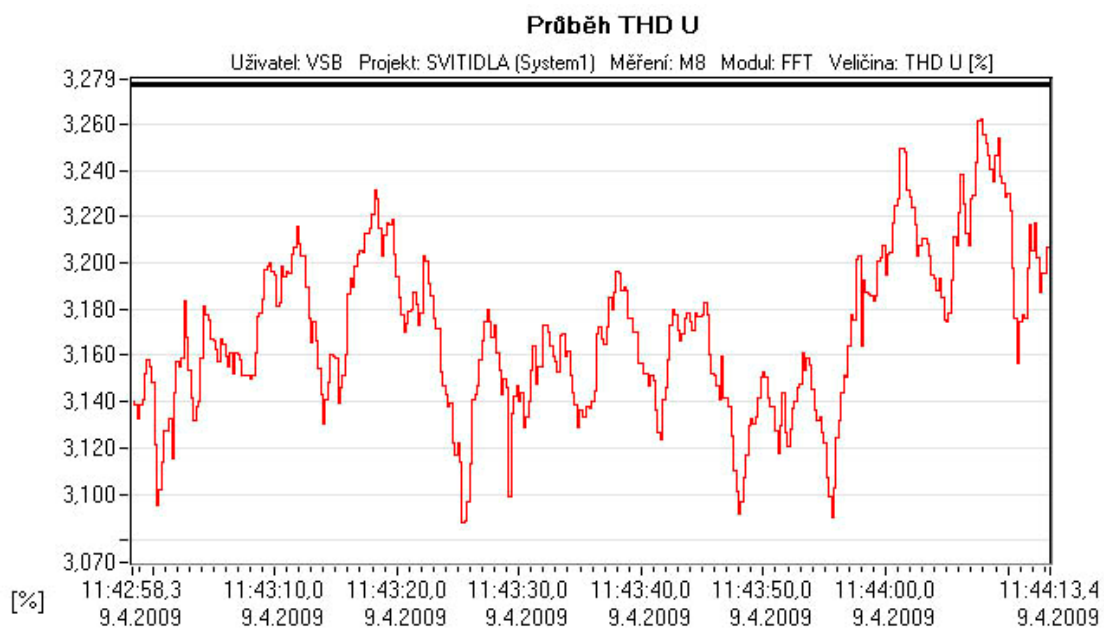
Obr. 31 Harmonické obsažené v napětí



Obr. 32 Průběh napětí žárovky TESLA 150W



Obr. 33 Průběh proudu žárovky TESLA 150 W



Obr. 34 Průběh celkového harmonického zkreslení napětí v %

4.3 Srovnání parametrů kvality

Pro přehledné znázornění rozdílů jednotlivých světelných zdrojů, na nichž bylo provedeno měření, je zde uvedena tabulka 5, v níž jsou u každého ze zkoumaných zdrojů uvedeny účinník, celkové účinníky a celkové harmonické zkreslení napětí.

Zdroj	cos ϕ	λ	THD U [%]
Výbojka OSRAM 150 W	0,911	0,896	0,31
Výbojka OSRAM 1000 W nap.ze sítě	0,971	0,935	3,15
Pole s LED diodami	0,984	0,975	0,105
Kompaktní zářivka OSRAM 23 W	0,887	0,612	0,47
Výbojka PHILIPS 150 W	0,943	0,926	0,33
Žárovka TESLA 150 W	1	1	0,1
Žárovka TESLA 150 W nap. ze sítě	1	1	3,2

Tab. 5 Tabulka parametrů kvality

5 Závěr

V této bakalářské práci jsou popsány základní typy elektrických zdrojů světla, jejich vlivy na napájecí síť, jenž přispívají ke zhoršování kvality elektrické energie. Tyto teoretické předpoklady byly také ověřeny prakticky. Měřením bylo zjištěno, že většina zkoumaných zdrojů by sama o sobě nepředstavovala pro distribuční síť závažný problém, ale musíme brát v potaz, že v celkovém množství připojených zdrojů elektrického světla nelze na tento problém zapomenout.

Díky možnosti měřit s použitím stabilizovaného zdroje nebyla kromě jednoho případu naměřená data ovlivněna distribuční sítí, jejíž vlastnosti lze vidět při porovnání průběhů naměřených při použití žárovky TESLA 150 W napájené ze stabilizovaného zdroje a posléze z distribuční sítě.

Z hlediska obsahu harmonických složek lze vyhodnotit jako nejhorší zdroj kompaktní zářivku OSRAM 23 W. Tento zdroj měl také nejhorší výsledky ve srovnání účinníku $\cos \varphi$, celkového účinníku λ a také celkového zkreslení napětí. V tomto ohledu ovšem neuvažují THD U zdrojů, jenž byly napájeny ze sítě, a nelze je tedy vzájemně porovnávat bez příslušné korekce. Srovnání zjištěných parametrů kvality vybraných zdrojů je zobrazeno v tabulce 5. Zmíněné hodnoty odpovídají, nebo jsou dokonce ještě lepší než hodnoty popsané v teoretické části v tabulce 3.

Literatura

- [1] ANDRÁS, D. *Kvalita dodávané elektrické energie v sítích nízkého napětí (Zlepšení kvality elektrické energie, zvětšení průřezu měděných vodičů)*. Budapest, Hungary : Hungarian Copper Promotion Center, 2001.
 - [2] BLAŽEK, V., MATOUŠEK, A. *Elektroenergetika*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství technické literatury. 1982.
 - [3] ČSN EN 50160, Český normalizační institut, 2000
 - [4] DRÁPELA, J., PLCH, J. *Souhrnný pohled na zpětné rušivé vlivy os na napájecí síť - Část 1* . Světlo. 2002, roč. 5, č. 2, s. 34-39. Dostupný z WWW:
< <http://www.odbornecasopisy.cz/download/sv020234.pdf>>.
 - [5] DRÁPELA, J., PLCH, J. *Souhrnný pohled na zpětné rušivé vlivy os na napájecí síť - Část 2*. Světlo. 2002, roč. 5, č. 4. Dostupný z WWW:
<http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=23017>.
 - [6] Dokumentace k přístroji ENA500 dostupné z:
<<http://www.elcom.cz/virtualni-instrumentace/produkty/bk-elcom/clanek/90-ena500.html>>
 - [7] Manuál k přístroji EDGAR CW 801 dostupný z:
<http://www.elgar.com/products/CW/downloads/CW_M_Series_Operation_Manual_M161570-01_RevE.pdf>
 - [8] SOKANSKÝ, K. *Racionalizace v osvětlování venkovních prostor*. Ostrava, 165 s.
 - [9] ŠEFČÍKOVÁ, M. *Elektrické světlo*. 1. vydání. Bratislava : Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1984.
-